

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Distribuovaný řídicí systém promítací kabiny
Distributed control system for projection cabin

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Herudek**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2612R041 Řídicí a informační systémy
Téma: **Distribuovaný řídicí systém promítací kabiny**
Distributed Control System for Projection Cabin

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je návrh a realizace distribuovaného řídicího systému promítací kabiny.

V souhrnu je práce charakterizována body:

1. Rešerše řešení řídicích systémů promítacích kabin.
2. Návrh a realizace hardwarové části řešení.
3. Návrh a implementace řídicího softwaru.
4. Návrh a implementace vizualizace systému.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] VÁŇA, Vladimír. *ARM pro začátečníky*. Praha: BEN-technická literatura, 2009, 195 s. ISBN 978-80-7300-246-6.
- [2] MATOUŠEK, David. *C pro mikrokontroléry ATMEL AT89S52*. Praha: BEN - technická literatura, 2007. ISBN 978-80-7300-215-2.
- [3] SLOSS, Andrew N., Dominic SYMES a Chris WRIGHT. *ARM system developer's guide: designing and optimizing system software*. Amsterdam: Elsevier Morgan Kaufmann, 2004. ISBN 1-55860-874-5.
- [4] TANENBAUM Andrew S. a Maarten Van STEEN. *Distributed systems*. 2nd edition. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007. ISBN 0-13-613553-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Dočekal**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019


doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 30.04.2019



podpis

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval mým rodičům, bratrovi a také přítelkyni za podporu nejen v průběhu tvorby této práce.

Velký dík také patří kolegovi Lukáši Tatarinovi, jehož neskutečný zápal pro dobrou věc, úctyhodná praxe promítače a vynikající komunikační schopnosti spolu s obdivuhodnou vytrvalostí při boji s byrokracií nejenže stály u zrodu tohoto projektu, nýbrž jej dále posunuly k reálnému nasazení do kina Orion díky vytvoření jeho vlastní ovládací aplikace pro platformu Android.

Rovněž bych chtěl poděkovat Ing. BcA. Richardu Vaculovi, vedoucímu kina Orion, a promítačům Ing. Adamovi Remešovi a Jiřímu Januškemu, jejichž ochota a cenné konstruktérské rady ve spojení s velkými zkušenostmi s promítáním umožnily úspěšné reálné testování zkonstruovaného řídicího systému v kině Orion.

Závěrem bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Tomáši Dočekalovi, jenž mi při vytváření tohoto projektu pomáhal řešit problémy konstruktivně a nezatěžoval mě zbytečnými maličkostmi. Naopak, jeho cenné poznámky a konzultace umožnily rychlý a vcelku bezproblémový vývoj celého zařízení, který díky tomu přerostl z nutnosti vytvoření závěrečné bakalářské práce až k srdeční záležitosti, která při své tvorbě přinášela radost. Rovněž bych mu chtěl poděkovat za vytištění krabičky pro hlavní řídicí desku pomocí 3D tiskárny.

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a realizací distribuovaného řídicího systému pro promítací kabiny. Pro demonstraci chování navrženého systému bylo představeno řešení obsluhy jednosálového městského biografu Orion v Hradci nad Moravicí. Hlavní částí systému je řídicí jednotka s dotykovým displejem, jejíž základ tvoří mikrokontrolér STM32F429. Řídicí jednotka je s vnějším světem propojena přes Ethernetové rozhraní s podporou TCP/IP. Komunikační spojení s distribuovanými periferiemi je zajištěno pomocí sběrnice RS485, přičemž samotný komunikační protokol byl vytvořen speciálně pro tuto aplikaci.

Klíčová slova

Distribuovaný řídicí systém, RS485, Ethernet, grafický displej, promítací kabina

Abstract

This work deals with the design and real-world implementation of a distributed control system for projection cabin. To demonstrate its functions, the distributed system was tested in the cinema “Orion”, located in Hradec and Moravici. The whole system is based on the main control board unit mounted with touchscreen and uses the STM32F429 microcontroller. The control board unit can remotely control or be remote-controlled via Ethernet. The distributed peripherals are linked with a RS485 bus, while the communication protocol was created especially for this application.

Key words

Distributed control system, RS485, Ethernet, graphic display, projection cabin

Obsah

Seznam zkratk a symbolů	8
Seznam ilustrací	10
Seznam tabulek	11
Úvod	12
1 Analýza problému obsluhy kina	13
1.1 Vnitřní uspořádání promítací kabiny	13
1.2 Komponenty umístěné mimo promítací kabinu	14
1.3 Existující systémy pro automatizaci kina	14
1.4 Požadavky na řídicí systém	14
1.5 Poznátky analýzy	16
2 Zvolené řešení problému	17
2.1 Distribuovaný řídicí systém	17
2.1.1 Historický vývoj řídicích systémů	17
2.1.2 Definice a vlastnosti distribuovaných řídicích systémů	17
2.1.3 Návrh distribuovaného systému	18
2.2 Koncept systému	18
2.3 Topologie distribuovaného řídicího systému	20
3 Návrh a realizace hardwarové části řešení	22
3.1 Demonstrátory funkce	22
3.1.1 Demonstrátor ovládání grafického displeje	22
3.1.2 Demonstrátor pro ověření funkčnosti Ethernetového rozhraní	23
3.2 Hlavní řídicí deska	24
3.2.1 Návrh schématu zapojení a desky plošných spojů	24
3.2.2 Konstrukce zařízení	26
3.3 Univerzální periferní řídicí deska	27
3.3.1 Návrh schématu zapojení a desky plošných spojů	28
3.3.2 Konstrukce zařízení	28
3.4 Výstupní periferie	30
3.4.1 Návrh schématu zapojení a desky plošných spojů	30
3.4.2 Konstrukce zařízení	30
3.5 Vstupní periferie	31
3.5.1 Návrh schématu zapojení a desky plošných spojů	31
3.5.2 Konstrukce zařízení	32
3.6 Senzorická periferie	33
3.6.1 Návrh schématu zapojení a desky plošných spojů	33
3.6.2 Konstrukce zařízení	34
3.7 Distribuční deska	35
3.7.1 Návrh schématu zapojení a desky plošných spojů	35
3.7.2 Konstrukce zařízení	35
3.8 Hlavní napájecí zdroj	36
3.8.1 Zapojení zdroje	37
4 Návrh a implementace řídicího softwaru	38

4.1	Komunikační protokol.....	38
4.2	Softwarové vybavení vstupní a výstupní periferie	39
4.2.1	Odlišnosti programu vstupní periferie	45
4.2.2	Odlišnosti programu výstupní periferie	46
4.3	Softwarové vybavení senzorické periferie	46
4.4	Softwarové vybavení hlavní řídicí desky	47
4.4.1	Inicializace periférií	47
4.4.2	Program hlavní nekonečné smyčky	48
4.4.3	Obsluha sběrnice RS485.....	48
4.4.4	Obsluha grafického displeje	49
4.4.5	Komunikace pomocí rozhraní Ethernet	50
4.4.6	Správa ostatních periferních zařízení	51
5	Návrh a implementace vizualizace systému	52
5.1	Přímé ovládání pomocí dotykového displeje	52
5.2	Diagnostický nástroj.....	53
5.2.1	Diagnostika s využitím komunikační sběrnice RS485	54
5.2.2	Diagnostika s využitím rozhraní Ethernet	54
5.3	Aplikační rozhraní pro vzdálené ovládání	55
5.3.1	Struktura příkazů aplikačního rozhraní	55
6	Demonstrace funkce.....	58
6.1	Demonstrační panel.....	58
6.1.1	Základní zapojení pro ukázkou a testování funkce jednotlivých periférií	58
6.1.2	Konstrukce demonstračního panelu.....	59
6.1.3	Poznatky z konstrukce testovacího panelu	60
6.2	Testování v městském kině Orion	61
6.2.1	Testování komunikace s digitálním projektorem	61
6.2.2	Testování komunikace se zvukovým procesorem	63
	Závěr	64
	Literatura	65
	Seznam příloh.....	69

Seznam zkratek a symbolů

1-Wire	Komunikační sběrnice využívající pouze jeden signálový vodič
A/D převodník.....	Analogově/digitální převodník
ASCII	American Standard Code for Information Interchange – kódová tabulka definující základní znaky používané v informačních technologiích
Bd	baud – jednotka modulační rychlosti
COM port	Communication port – sériový port
DC	Direct Current – stejnosměrný proud
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol – protokol pro automatickou konfiguraci připojení zařízení počítačové sítě
DIN.....	Deutsche Industrie-Norm – německá národní norma
DIP	Dual In-line package – pouzdro elektronických součástek se dvěma řadami pinů
DMX	Digital Multiplex – povelový protokol pro digitální přenos řídicích informací
DNS.....	Domain Name System – hierarchický systém doménových jmen
DPI	Display Parallel Interface – paralelní rozhraní pro komunikaci s displejem
DPS	Deska plošných spojů
EEPROM.....	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory – elektricky mazatelná nevolatilní paměť
FIFO	First In, First Out – paměť, kdy první vložený prvek je zpracováván jako první
FRAM	Ferroelectric Random Access Memory – nevolatilní paměť s náhodným přístupem
HEX.....	Hexadecimal – označení pro šestnáctkovou soustavu
HMI.....	Human-Machine Interface – rozhraní pro interakci mezi uživatelem a strojem
I ² C	Inter-Integrated Circuit – multi-masterová sériová sběrnice
IP adresa	Internet Protocol adresa – jednoznačná adresa síťového zařízení
ISP	In-system programming – rozhraní pro programování mikrokontroléru
JSON	JavaScript Object Notation – datový formát nezávislý na použité platformě
LAN.....	Local Area Network – místní síť
LCD.....	Liquid Crystal Display – displej založený na tekutých krystalech
LED	Light-Emitting Diode – světlo emitující dioda
LQFP	Low Profile Quad Flat Package – pouzdro součástek s nízkým profilem
LTDC	LCD-TFT display controller – grafický ovladač
MAC.....	Media Access Control – jednoznačný identifikátor síťového zařízení
OLED	Organic Light-Emitting Diode – organická světlo emitující dioda
PoE.....	Power over Ethernet – napájení po datovém síťovém kabelu
PWM	Pulse Width Modulation – pulzně šířková modulace
RFID.....	Radio Frequency Identification – identifikace skrze rádiovou frekvenci
RTC.....	Real-Time Clock – hodiny reálného času
SD karta.....	Secure Digital karta – paměťová karta založená na flash paměti
SDRAM.....	Synchronous Dynamic Random Access Memory – dynamická paměť s náhodným přístupem a se synchronním přenosem dat
SMT.....	Surface Mount Technology – technologie povrchové montáže součástek
SPI.....	Serial Peripheral Interface – sériové periferní rozhraní

SSID	Service Set Identifier – identifikátor bezdrátové sítě
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol – rodina protokolů pro komunikaci v počítačové síti
TFT	Thin-Film Transistor – technologie výroby displejů z tekutých krystalů
THT	Through-Hole Technology – technologie osazování součástek skrz desku
TQFP	Thin Quad Flat Package – pouzdro součástek s nízkým profilem
TWI	Two Wire Interface – multi-masterová sériová sběrnice (obdoba I ² C)
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter – asynchronní komunikace
UDP	User Datagram Protocol – jeden z protokolů internetu
UPS	Uninterruptible Power Supply – zdroj nepřerušitelného napájení
USART	Universal Synchronous / Asynchronous Receiver Transmitter – synchronní nebo asynchronní komunikace
USB	Universal Serial Bus – univerzální sériová sběrnice
UTP	Unshielded Twisted Pair – nestíněná kroucená dvojlinka
WAN	Wide Area Network – rozlehlá síť
WiFi	Wireless Fidelity – bezdrátová komunikace
WPA2-PSK	Wi-Fi Protected Access - Pre-Shared Key – zabezpečení bezdrátových sítí
XOR	Operátor exkluzivní disjunkce

Seznam ilustrací

Obrázek 1 – Ukázka vnitřního uspořádání promítací kabiny	13
Obrázek 2 – Fotografie a rozměry běžně používané DIN lišty (35 x 7,5 mm) [15].....	19
Obrázek 3 – Zvolená topologie distribuovaného řídicího systému	21
Obrázek 4 – Demonstrátor pro ovládání grafického displeje	23
Obrázek 5 – Demonstrátor pro ověření funkčnosti Ethernetového rozhraní.....	24
Obrázek 6 – Hlavní řídicí deska	27
Obrázek 7 – Univerzální řídicí periferní deska s programem výstupní periferie	29
Obrázek 8 – Dodatečné hardwarové řešení zákmitů tlačítek	29
Obrázek 9 – Výstupní periferie ve finální krabici pro umístění na DIN lištu	31
Obrázek 10 – Ukázka zapojení multifunkčního vstupu	32
Obrázek 11 – Vstupní periferie ve finální krabici pro umístění na DIN lištu	33
Obrázek 12 – Senzorická periferie připravená k osazení do krabice	35
Obrázek 13 – Distribuční deska pro připojení osmi periférií	36
Obrázek 14 – Zapojení hlavního zdroje pro napájení distribuovaného systému	37
Obrázek 15 – Ukázka struktury paketů komunikačního protokolu	39
Obrázek 16 – Hlavní blok programu s nekonečnou smyčkou	40
Obrázek 17 – Obsluha přerušení příjmu dat z jednotky UART	41
Obrázek 18 – Obsluha přerušení čítače pro správu rozhraní RS485	42
Obrázek 19 – Obsluha přerušení čítače pro obnovování displeje	43
Obrázek 20 – Úvodní a hlavní obrazovka výstupní periferie	44
Obrázek 21 – Obrazovka pro zadání přístupového kódu a informační obrazovka	44
Obrázek 22 – Ukázka hlavního menu a obrazovky s nastavením	44
Obrázek 23 – Ukázka obrazovky pro testování sběrnice RS485	45
Obrázek 24 – Obrazovky při testu displeje	45
Obrázek 25 – Obrazovky v režimu testování vstupů	46
Obrázek 26 – Obrazovky v režimu testování výstupů	46
Obrázek 27 – Princip zapojení vyrovnávací paměti při odesílání příkazů	49
Obrázek 28 – Schéma principu funkce grafického vykreslování	50
Obrázek 29 – Ukázka grafické podoby uživatelského rozhraní hlavní řídicí desky	53
Obrázek 30 – Ukázka diagnostického programu pro komunikaci přes sběrnici RS485	54
Obrázek 31 – Ukázka diagnostické aplikace pro komunikaci pomocí rozhraní Ethernet	55
Obrázek 32 – Ukázka struktury zaslaného příkazu metodou POST	56
Obrázek 33 – Ukázka struktury příkazů vytvořeného aplikačního rozhraní	56
Obrázek 34 – Demonstrační přípravek pro ukázkou funkce jednotlivých periférií	59
Obrázek 35 – Zkušební zapojení části systému před osazením na demonstrační panel	60
Obrázek 36 – Ukázka části průběhu na komunikační sběrnici RS485	61
Obrázek 37 – Ukázka struktury komunikace pomocí protokolu Barco	62
Obrázek 38 – Ukázka z testování komunikace s digitálním projektorem	62

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Tabulka příkazů pro komunikaci se zvukovým procesorem [16]	63
--	----

Úvod

Základním podnětem k vytvoření této práce byla snaha zjednodušit, zpřehlednit a automatizovat množství procesů, které je běžně potřeba provádět v promítací kabině. Byť je dnes dominujícím trendem digitální projekce, která část potřebných činností odstranila, ještě stále se setkáváme s kinosály, kde je promítáno z filmového pásu – případně jsou k dispozici obě možnosti. Obsluha takovýchto promítacích systémů je především časově náročná, neboť je potřeba provést relativně velké množství úkolů. Tyto úkoly jsou však z velké části rutinní a předcházejí každé projekci. Proto vznikla myšlenka je automatizovat buďto úplně, nebo alespoň v co možná největší míře omezit potřebu zásahu ze strany obsluhy. Rovněž by tento systém měl snížit nároky na znalosti a zkušenosti obsluhy a umožnit tak vést projekce i méně zkušeným promítačům, zejména pak těm bez technického vzdělání.

Potřebný řídicí systém musí splňovat alespoň tři základní kritéria. Prvním je možnost ovládání chování analogového promítacího stroje, který zpravidla disponuje tlačítkovým panelem napojeným na vstupy. Výstupy, udávající aktuální stav promítačky, bývají ve formě světelných indikátorů. Druhým kritériem je podpora ovládání digitálních projektorů, které zpravidla disponují pouze základními ovládacími prvky a jejich nastavení a ovládání se provádí přes určené komunikační rozhraní, typicky rozhraní Ethernet. Třetím požadavkem na řídicí systém je jeho snadné ovládání ze strany obsluhy. Jak bylo uvedeno výše, systém musí být navržen tak, aby bylo jeho ovládání bezproblémové i pro méně kvalifikovaný personál. Pro tyto účely jsou dnes často používány dotykové obrazovky, u kterých je výhodou možnost příslušné ovládací prvky graficky vizualizovat a dát tak obsluze k dispozici intuitivnější ovládání s předpokládanou odezvou.

Jelikož se ovládací panely a jednotlivé promítací stroje často nenacházejí ve své těsné blízkosti, nebo naopak mezi nimi není dostatek prostoru, je výhodné řídicí systém rozdělit na jednotlivé vzájemně propojené periferie příslušící každému stroji a vytvořit tak distribuovaný řídicí systém. Jednou z hlavních výhod takového systému je jeho otevřenost a univerzálnost, lze tak ovládat různá zařízení, která je zároveň možno do systému libovolně přidávat v průběhu času tak, jak to vyplyne z potřeb řízení promítací kabiny.

1 Analýza problému obsluhy kina

Aby bylo možné správně navrhnout potřebný řídicí systém, je potřeba nejprve důkladně analyzovat konkrétní problém. Analýza je založena na mnoha návštěvách kinosálu a promítací kabiny městského kina Orion v Hradci nad Moravicí. Jednotlivé návštěvy byly vždy spojeny s konzultacemi s tamními promítači či přímo vedoucím kina. Kino jako celek tvoří v zásadě tyto čtyři hlavní části: bar s občerstvením a výdejem vstupenek, promítací kabina, kinosál s plátnem a prostor za promítacím plátnem (pódium).

1.1 Vnitřní uspořádání promítací kabiny

Promítací kabina je místností s rozměry 4×7 metrů, přičemž úroveň podlahy je oproti podlaze ve spodní části sálu vyvýšena o přibližně 2 metry. Místnost samotná je z části rozdělena příčkou, je tak vytvořen prostor o rozměrech 4×1 metr, který je určený pro umístění rozvaděče a dalších silnoproudých rozvodů.

Hlavní části promítací kabiny dominují tři promítací stroje: digitální projektor Barco DP2K-10S, analogová promítačka firmy Meopta MEO5XB3 určená pro 35mm filmový pás a další analogová promítačka Meopta Meopton2 určená pro 16mm filmový pás. Všechny tři stroje mají společnou vzduchotechniku, přičemž přepínací klapka se ovládá manuálně.



Obrázek 1 – Ukázka vnitřního uspořádání promítací kabiny

Dále se zde nachází stolní počítač, digitální zvukový procesor DOLBY CP650, síťové úložiště a kombinovaný síťový prvek typu router/switch ve spojení s přístupovým bodem pro bezdrátové sítě typu WiFi. Rovněž je zde umístěn panel pro ovládání vykrývání promítacího plátna a spouštěč zvukového signálu pro upozornění návštěvníků na zahájení promítání.

1.2 Komponenty umístěné mimo promítací kabinu

Velmi důležitou komponentou, která se však kvůli rozměrné kabeláži nenachází v promítací kabině, ale v technické místnosti sousedící se sálem, je řízení světel v sále. Světla jsou připojena skrze řídicí prvek umožňující plynulou změnu jasu v celém rozsahu.

V zadní části sálu, za oponou jeviště, se nachází vícekanálový stmívač pro divadelní reflektory mířící na pódium. Tento šestikanálový stmívač DX-626A vyráběný firmou Lite Puter je možné vzdáleně ovládat pomocí rozhraní DMX, případně i analogovým signálem o standardním rozsahu 0 až 10 V stejnosměrných pro každý kanál zvlášť. Za jevištěm se rovněž nacházejí motory pro zajištění pohybu opon pro vykřívání obrazu.

Mimo promítací kabinu je také umístěno nouzové osvětlení. Vzhledem k typu zařízení a jeho požadavkům na spolehlivost však do tohoto systému není vhodné jakkoli zasahovat.

1.3 Existující systémy pro automatizaci kina

První snahy o automatizaci analogových promítaček se objevovaly již v jejich začátcích. K automatizaci sloužily takzvané povelové značky z hliníkové fólie, které byly nalepeny na okraji filmového pásu. Tyto značky umožňovaly například automatické zastavení, volbu formátu, ukončení zpětného převíjení nebo dokonce i ovládání světel v hledišti. Pozdější stroje umožňovaly připojení dálkového ovládacího panelu, který umožňoval vzdáleně provádět základní operace s promítačkou, například zážeh a zhasnutí výbojky, volbu obrazového formátu nebo i dálkové zaostřování objektivu. [8]

Oba tyto způsoby automatizace či zjednodušení ovládání ale s příchodem digitalizace velmi rychle zastaraly, neboť neumožňují (nebo jen velmi obtížně) napojení na digitální projektory a ostatní zařízení kina (zvukové procesory, digitální stmívače, ...).

Přirozeně se tak začaly objevovat samostatné digitální řídicí systémy, které v sobě spojovaly řízení všech použitých technologií. S nástupem multiplexních kin se tyto systémy začaly rovněž adaptovat pro ovládání mnoha aktivních projekcí současně a cena i složitost takovýchto systémů narostla nad možnosti malých, zejména obecních kin. Automatizace těchto malých sálů není pro výrobce řídicích systému příliš atraktivní, provozovatele těchto kin se tak musí připravit na vyšší cenu a rovněž neochotu výrobců řídicí systém plně adaptovat pro specifické potřeby těchto menších kin. Řídicí systémy jednotlivých výrobců také často neumožňují ovládání specifických, méně častých zařízení či zařízení jiných firem, než jaké preferuje daný výrobce. Automatizace kin tak provozovatelům přináší další náklady na výměnu sice funkčních kusů techniky, nicméně nekompatibilních s novým řídicím systémem. Provozovatelé kin tak často od požadavku automatizace ustupují, neboť takovýto krok není ekonomicky výhodný.

1.4 Požadavky na řídicí systém

Základním požadavkem je široká kompatibilita napříč různými zařízeními kinosálu i promítací kabiny. Z toho vyplývá nejen možnost ovládání digitálního projektoru a analogové promítačky, ale například také ovládání zvukového procesoru nebo i světel v sále.

Řídicí systém tak musí umět číst a ovládat binární vstupy a výstupy, které se používají nejen pro ovládání promítaček. Vstupy musí být schopny pracovat jak v režimu detekce napětí, tedy když je na vstup přivedeno napětí z napojeného přístroje, tak i v režimu detekce sepnutí, což odpovídá situaci, kdy je na vstup pouze připojeno tlačítko či spínač a detekční napětí tak musí být dodáno ze vstupní periferie řídicího systému. Při návrhu je zároveň potřeba počítat s tím, že přivedené napětí může být

dvojího typu a velikosti. Interní napětí používané v promítačkách je 24 V stejnosměrných, zatímco některé vstupy budou snímat přítomnost síťového napětí, tedy 230 V střídavých. Obdobná situace je u výstupů řídicího systému, ty musí rovněž umět pracovat s oběma typy napětí. Fungovat však budou pouze v režimu sepnutí/přepnutí, neboť není vhodné z hlediska spolehlivosti používat centrální napájení pro 24V zařízení. Co se týče proudové zatížitelnosti spínacích kontaktů, pro ovládání běžných přístrojů je vhodným kompromisem zatížitelnost 10 A, neboť některé kontakty budou spínat pouze řídicí signály v řádu mA, zatímco jiné budou spínat například žárovky či ventilátory v řádu maximálně jednotek Ampér. Pro spínání výkonově náročnějších zařízení se počítá se zapojením externích stykačů.

V kontrastu s binárním řízením musí řídicí systém disponovat alespoň dvěma základními typy datové komunikace. Tím prvním je Ethernetové rozhraní s podporou rodiny protokolů TCP/IP, neboť právě tento typ komunikace se nejčastěji používá právě pro ovládání digitálních projektorů. Co se týče ovládacích příkazů, jednotlivé typy různých výrobců obvykle nejsou absolutně kompatibilní, je tak potřeba pro každý projektor přizpůsobit zasílaná data a příkazy. Toto je však záležitost programu řídicího systému, který je oproti hardwaru zpravidla podstatně snazší upravit dle konkrétních požadavků dané aplikace. Pomocí Ethernetového rozhraní je rovněž možno realizovat vzdálené ovládání řídicího systému, například pomocí aplikace v mobilním telefonu či tabletu. Takovéto řešení by dále zvýšilo komfort obsluhy, neboť nejenže by bylo možné ovládat například ostření obrazu promítačky či změnu hlasitosti z promítací kabiny, ale i přímo ze sálu kina. Při vhodné konfiguraci takovéto sítě a jejího připojení k internetu by dále bylo možné například sledovat aktuální stav projektoru, osvětlení či ventilace prakticky odkudkoliv, což dále zvyšuje přidanou hodnotu takového řídicího systému. Vyvstává však problém řešení bezpečnosti takového datového spojení, neboť při prolomení tohoto zabezpečení se ovládání řídicího systému ocitá na straně třetí osoby, což je v případě této aplikace absolutně nepřijatelné.

Druhým potřebným rozhraním je sériová linka RS232, neboť některá jednodušší zařízení bývají vybavena právě tímto komunikačním rozhraním. Typickým příkladem z promítací kabiny je zvukový procesor. Lze se ale setkat i s jinými zařízeními, například záložním zdrojem (UPS). V zásadě existuje více variant tohoto rozhraní, přičemž ty jsou od sebe odlišeny velikostí používaného napětí. Aby byla zaručena kompatibilita napříč všemi variantami, řídicí systém by měl využívat možností moderních převodníků. Ty mají kromě napěťové odolnosti datové vodiče proudově omezeny a je tak zabráněno poškození připojeného zařízení. Velkou výhodou tohoto rozhraní je jeho programová nenáročnost, neboť valná většina dostupných mikrokontrolérů toto rozhraní s přidaným převodníkem podporuje skrze vlastní hardwarové jednotky umístěné na čipu.

Dalším požadavkem na řídicí systém musí být jeho přehledné ovládání ze strany obsluhy. Od samotného začátku návrhu musí být počítáno s netechnicky vzdělaným personálem, který byl pouze zaškolen z hlediska používání řídicího systému, nikoli však seznámen s detailní funkcí jednotlivých komponent. Tohoto lze dosáhnout použitím dotykové obrazovky, neboť tento symbol moderní doby při vhodném grafickém návrhu přináší přehledné ovládání s očekávanou zpětnou vazbou pro obsluhu. Při realizaci vzdáleného ovládání pomocí mobilu či tabletu by bylo vhodné se použít grafice dotykového panelu řídicího systému co možná nejvíce přiblížit. Tím by zůstala zachována přehlednost a jednoduchost ovládání pro obsluhu, neboť by nebylo potřeba personál zaučovat pro dvě různá ovládací rozhraní.

1.5 Poznatky analýzy

Promítací kabina, která nemá alespoň určitou část techniky a jejího ovládání automatizovanou, je z dlouhodobého hlediska značně náročná nejen na obsluhu, ale hlavně na údržbu. Konečným důsledkem tak je potřeba znalých a velmi zkušených promítačů, kterých je však zejména v menších obcích nedostatek.

Automatizace přináší i mnoho dalších, na první pohled skrytých, výhod. Do značné míry odstraňuje možnost lidské chyby, kdy například zapomenutí zapnutí odvětrávání může způsobit nejen zničení promítačky či projektoru, ale v krajním případě i požár. Kvalitní řídicí systém rovněž umožňuje diagnostikovat případné problémy s technikou a hledání chyb, které mnohdy bývá velmi složité a časově náročné, tak může být vyřešeno pomocí řídicího systému v mnohanásobně kratším čase a zpravidla bez potřeby jakéhokoli zásahu ze strany obsluhy.

Při spojení řídicího systému se systémem inteligentních budov může dále dojít k úspoře částí provozních nákladů, zejména ve formě nižší spotřeby elektrické energie. V neposlední řadě může řídicí systém přinést i zlepšení pohodlí diváků, například za pomoci monitorování kvality ovzduší v sále a patřičných reakcí dle získaných dat. Příkladem může být zapnutí odvětrávání při nárůstu koncentrace oxidu uhličitého nad nastavenou mez.

2 Zvolené řešení problému

Analýza zapojení jednotlivých komponent kina ukázala, že bude výhodné řídicí systém rozdělit na jednotlivé samostatné periferie s určitým účelem, tedy jakési moduly. V případě potřeby přidat do kina nový prvek, například nové osvětlení, nebude potřeba celý systém předělávat, ale postačí přidat další výstupní periférii. Stejně tak pokud nastane porucha například na vstupní periférii promítačky, postačí tento modul vyměnit kus za kus, což výrazně zkrátí dobu poruchového stavu. Takovéto systémy se označují jako distribuované nebo decentralizované, v závislosti na dílčích vlastnostech.

2.1 Distribuovaný řídicí systém

Návrh distribuovaného řídicího systému je značně komplikovanou a rozsáhlou záležitostí, před samotným návrhem je tedy velmi důležité specifikovat požadavky na navrhovaný řídicí systém. Aby se předešlo omylům při návrhu, je potřeba se nejprve podívat na historický vývoj distribuovaných řídicích systémů, což následně umožní distribuovaný řídicí systém definovat.

2.1.1 Historický vývoj řídicích systémů

Počítačové systémy neustále procházejí evolucí. Od roku 1945, kdy započala éra moderních počítačů, přibližně do roku 1985 byly počítače příliš rozměrné a drahé. V důsledku toho firmy vlastnily pouze jednotky kusů počítačů a jelikož nebyla možnost je vzájemně propojit, byl každý počítač obsluhován samostatně. Začátkem 80. let se však situace začala měnit, umožnily to dva zcela zásadní objevy. [49]

Prvním z nich je mikroprocesor. Přestože první z nich, Intel 4004, byl představen již v roce 1971, trvalo ještě řadu let, než se tyto nové výpočetní jednotky rozšířily a dosáhly lepších výkonů pro tehdejší běžné výpočetní potřeby. Postupem času byly představeny čipy, jejichž výkon dokázal nahradit celé sálové počítače za zlomek ceny, spotřeby a současně při řádově menších rozměrech. Pokrok, jenž se v počítačové technice odehrál za minulé půlstoletí, nemá v jiných oborech obdoby. Místo přístroje za 10 milionů dolarů vykonávající 1 instrukci za sekundu jsou dnes běžně k dispozici počítače vykonávající 1 miliardu instrukcí za sekundu při ceně 1000 dolarů. Poměr cena/výkon se tak zvýšil o 10^{13} . S nadsázkou tak můžeme říci, že kdyby stejného pokroku dosáhl automobilový průmysl, Rolls-Royce by dnes stál 1 dolar a dosáhl by spotřeby 0,2 μ l na 100 km. [49]

Druhým přelomovým vynálezem jsou vysokorychlostní počítačové sítě. LAN – místní síť, umožnila propojit stovky počítačů v rámci jedné budovy rychlostí v řádu až několika gigabitů za sekundu. WAN – rozsáhlá síť počítačů naopak umožnila propojit jednotlivé budovy, města a státy v řádu stovek megabitů až jednotek gigabitů za sekundu. Díky tomu mohly být nejen zasilány výsledky výpočtů z výkonnějších strojů na ty méně výkonné, ale zároveň mohly být výpočetně náročné úlohy řešeny velkým množstvím malých počítačů současně, prakticky bez ohledu na jejich fyzické umístění. Vznikly tak první distribuované systémy v porovnání s předchozími centralizovanými (jednoprocesorovými) systémy. [10][49]

2.1.2 Definice a vlastnosti distribuovaných řídicích systémů

Distribuovaný řídicí systém je možné definovat jako sdružení samostatných počítačů, které se však svému uživateli jeví jako jeden jediný ucelený systém. [49]

Vývoj distribuovaných systémů je obvykle nákladnější (cenově i prostředky), než je tomu u centralizovaných systémů. Je proto potřeba důkladně analyzovat řešený problém a zvážit možné

přístupy, neboť vzhledem k dnešnímu vysokému výkonu nejen osobních a jednodeskových počítačů, ale i samotných mikrokontrolérů lze často danou úlohu realizovat lokálně, bez potřeby mnoha samostatných jednotek.

Obecnými požadavky při použití distribuovaných systémů by měla být snadná dostupnost potřebných prostředků, dále také schopnost skrýt před uživateli fakt, že prostředky nejsou dostupné lokálně, a současně by měl distribuovaný systém umožnit své rozšíření o další jednotky. Základním cílem je však vždy uživateli zjednodušit práci se vzdálenými prostředky – zajistit jejich sdílení řízeným a efektivním způsobem. [21][49]

Distribuovaný systém by měl umožňovat výměnu jednotlivých částí bez ovlivnění funkce ostatních jednotek. K zajištění flexibility distribuovaného systému je klíčové, aby se jeho jednotlivé části skládaly z poměrně jednoduchých a snadno nahraditelných částí. Dalším aspektem by měla být možná rozšiřitelnost systému o nové jednotky a možnost zvýšit tak množství uživatelsky dostupných prostředků. Jednotlivé části musí podporovat vzájemně kompatibilní komunikaci, zatímco samotný způsob práce konkrétních jednotek může být diametrálně odlišný – typickým příkladem jsou vzájemně propojené počítače pracující s rozdílnými operačními systémy. [10][21][49]

V distribuovaných systémech obvykle vystupují dva typy zařízení, server a klient. Server obvykle sdružuje a následně poskytuje prostředky. Klient poté na takovýto server přistupuje s konkrétním požadavkem na určitý prostředek. Stále častěji, a to zejména u distribuovaných systémů, nastává situace, kdy se server v určitých případech chová jako klient a opačně. Taková zařízení se obvykle nazývají „servent“ (spojení slov server a klient). [49]

2.1.3 Návrh distribuovaného systému

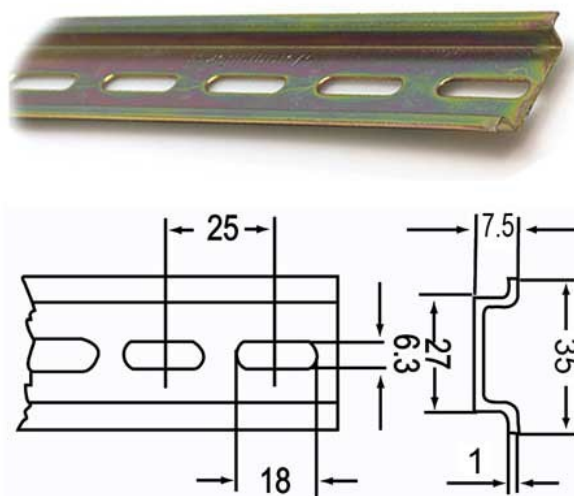
Často je při návrhu distribuovaných systémů chybně předpokládáno, že komunikační síť je stabilní, spolehlivá, zabezpečená a homogenní. Rovněž bývá mylně spoléháno na to, že topologie sítě je neměnná, latence spojení je nulová, rychlost komunikace je neomezená, cena přenosu informace je nulová a že existuje pouze jeden administrátor systému. Samozřejmě se lze setkat se systémy, kde je výhodné nebo naopak nezbyvá než spoléhat na některé výše uvedené vlastnosti, při návrhu nových systémů je však žádoucí brát na tyto vlastnosti zřetel. [49]

I přesto, že distribuovaný systém lze navrhnout jednorázově a jednoúčelově pro danou aplikaci, při dodržení výše uvedených zásad návrhu distribuovaných řídicích systémů by mělo být možné systém jako celek neustále vylepšovat a současně jej postupně doplňovat o nové technologie. Takto by byla zaručena nejen dlouhá životnost celého systému, a tím ospravedlněny vyšší náklady na vývoj takového systému (zlepšení ekonomické stránky projektu), ale také jeho ideální funkce, neboť jen díky neustálému přizpůsobování a vylepšování může dojít k optimalizaci funkce celého systému, a tedy jeho maximálního využití.

2.2 Koncept systému

Jelikož se předpokládá poměrně velký počet použitých periferních modulů, je výhodné od začátku počítat s tím, kde a jak budou tato zařízení fyzicky umístěna. V technické praxi se často setkáváme s rozvaděči s velkým množstvím podobných prvků, přičemž jsou jednotlivé prvky umístěny na DIN liště, což umožňuje jejich snadné uchycení, a tedy snadnou výstavbu takového systému, stejně tak i výměnu prvků v případě poruchy. Rovněž je takovýto systém přehledný z hlediska kabeláže a zároveň poskytuje ochranu proti doteku nebezpečných živých částí. Další výhodou je množství komerčně

dostupných krabiček s úchyty na DIN lištu, konstruovaná zařízení tedy mohou být od samotného počátku vývoje určena pro danou řadu krabiček, což podstatně usnadní jejich konečné zapouzdření.



Obrázek 2 – Fotografie a rozměry běžně používané DIN lišty (35 × 7,5 mm) [15]

V souladu se snadnou výměnou a montáží jednotlivých modulů je výhodné použít běžně dostupné standardizované konektory. Pro tuto aplikaci se jako nejvhodnější jeví rozpojovací svorkovnice, neboť právě ty spojují snadnou montáž s jednoduchým připojením. Při výstavbě takového systému není potřeba jednotlivé vodiče pájet na konektor, neboť svorkovnice má na svém vstupu šroubovací mechanismus, který zajistí nejen dobré vodivé spojení, ale i značnou mechanickou odolnost. Svorkovnice s takto připojenou skupinou vodičů může být poté jednoduše připojena do připraveného protikusu díky zacvakávacímu mechanismu. Stejně tak jednoduché je i následné odpojení svorkovnice od zařízení, díky čemuž je možné daný modul jednoduše a rychle vyměnit za náhradní, prakticky bez potřeby jakéhokoli nářadí.

Pro dotykové ovládání byl vybrán displej na bázi tekutých krystalů s kapacitní dotykovou vrstvou. Jelikož je k dispozici velké množství různých displejů, je potřeba brát ohled nejen na základní parametry jako rozlišení, velikost a cenu displeje, ale také na dostupnost v delším časovém horizontu. Jako nejvhodnější kandidát se jeví sedmipalcový LCD s rozlišením 800 × 480 pixelů, neboť právě ten je používán v dobře známém a velmi rozšířeném ekosystému jednodeskového počítače Raspberry Pi. Tato skutečnost jej předurčuje k dlouhodobé dostupnosti, společně s množstvím dostupných technických listů a širokou základnou uživatelů. Všechny tyto vlastnosti by měly pomoci nejen snadnému vývoji řídicího systému, ale i případné vícekusové realizaci v delším časovém období.

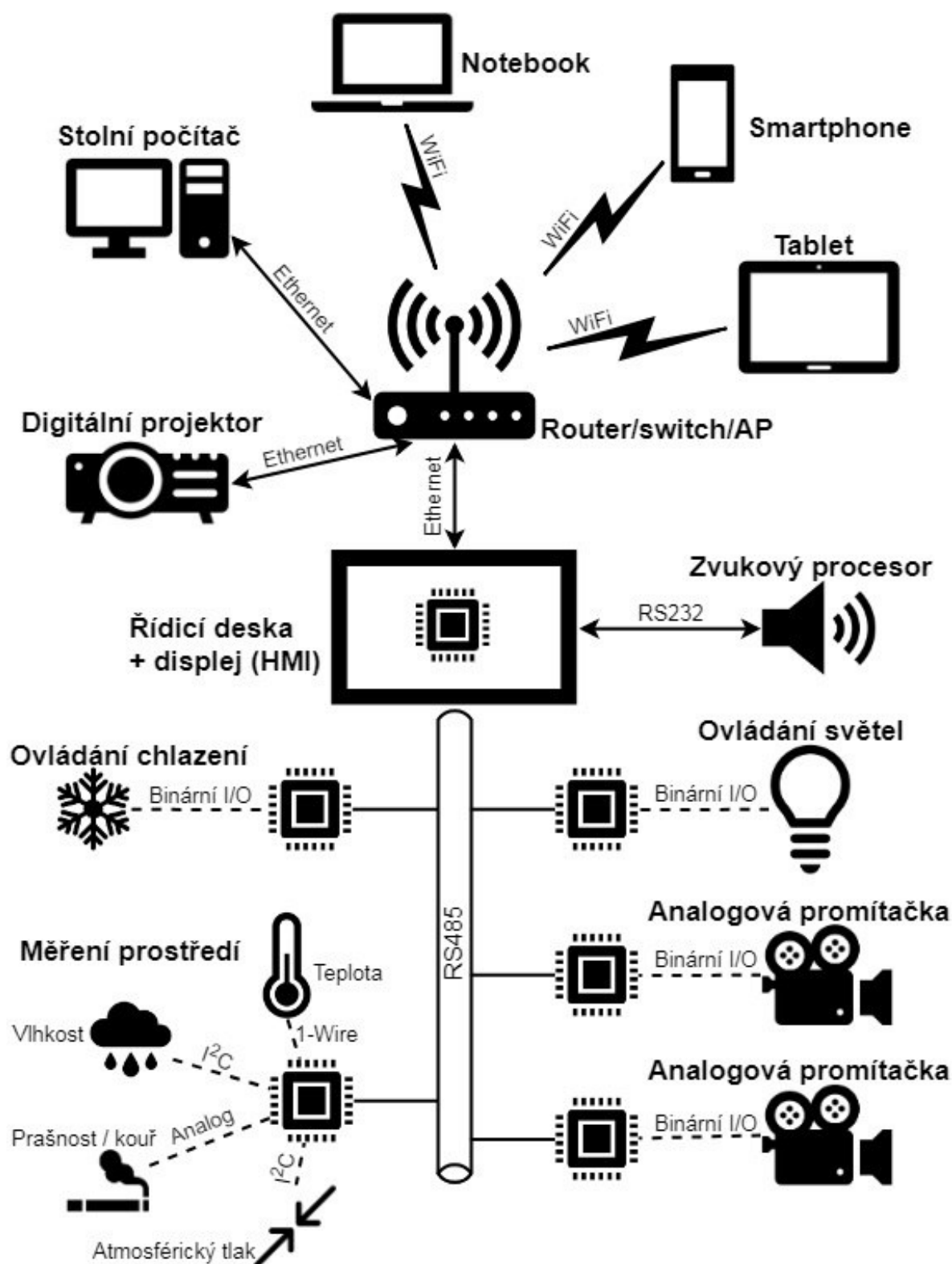
Návrh grafické části řídicího systému je poměrně obtížný, neboť grafické vnímání je záležitostí do značné míry subjektivní a nelze tak uspokojit každého. Jelikož je při aktivní projekci v promítací kabině záměrně ztlumené osvětlení, je výhodné grafickou podobu řídicího systému stylizovat do tmavých barev tak, aby nedocházelo k nepříjemnému oslňování obsluhy. Oslnění je možné do určité míry ovlivnit také regulací jasu podsvícení displeje, což může rovněž přinést nižší spotřebu energie ze strany řídicí jednotky.

2.3 Topologie distribuovaného řídicího systému

Vzhledem k použití několika rozhraní je nutné celý systém, včetně jeho ovládání, zapojit pomocí kombinované topologie. Základem systému je však rozhraní RS485, které je zapojeno skrze sběrnice rozložení. Jednotlivé periferie připojené k této sběrnici pro další komunikaci v rámci zařízení poté využívají lokální komunikační rozhraní, typicky SPI pro ovládání displeje a 1-Wire pro měření teploty. Dále se u periférií lze setkat s komunikací přes I²C, některými výrobci označovanou jako TWI, která je například používána senzory vlhkosti nebo senzory atmosférického tlaku. Ovládání světel, chlazení (ventilace) nebo i přímé řízení chodu analogových promítaček je řešeno skrze binární vstupy a výstupy příslušných periférií.

Zvlášť zapojený je zde zvukový procesor, který pro komunikaci využívá rozhraní RS232. Toto rozhraní obvykle přímo spojuje pouze dvě zařízení, stejně tak tomu je i v tomto případě.

Ovládání digitálního projektoru je řešeno pomocí rozhraní Ethernet. Projektor však není s řídicí deskou propojen přímo, nýbrž se stejně jako řídicí deska nachází v lokální síti v promítací kabině, kam je mimo jiné připojen i stolní počítač nebo tablet spolu s chytrými mobilními telefony. Základ této LAN tvoří kombinovaný síťový prvek typu router/switch, který rovněž disponuje bezdrátovým rozhraním WiFi a slouží tak zároveň jako přístupový bod. Z hlediska návrhu distribuovaného řídicího systému je k této síti přistupováno jako k izolované lokální síti (bez přístupu k internetu), přičemž zabezpečení bezdrátové komunikace je řešeno použitím WPA2-PSK s dostatečně silným heslem, skrytím SSID a vypnutím automatického nastavení parametrů sítě (DHCP). Rovněž je zde, stejně jako v případě ethernetového připojení, realizováno filtrování MAC adres. Ethernetové zásuvky jsou přístupny pouze v promítací kabině. Veškerá tato opatření sice nezaručují absolutní bezpečnost sítě, nicméně alespoň do značné míry znesnadňují přístup pro nežádoucí uživatele a jejich případné pokusy o napadení této sítě a zařízení, která se v ní nacházejí.



Obrázek 3 – Zvolená topologie distribuovaného řídicího systému

3 Návrh a realizace hardwarové části řešení

Aby bylo využito co možná nejvíce výhod distribuovaného systému, je potřeba konstruovat jednotlivá zařízení tak, aby umožňovala snadnou výměnu, možnost rozšíření systému a v neposlední řadě musí být kladen důraz na vzájemnou kompatibilitu.

Pro návrh schémat a následné vytvoření desek plošných spojů bylo využito programu Eagle ve verzi 6.1.0. K programování hlavní řídicí desky, jejímž základem je mikrokontrolér STM32F429, bylo zpočátku použito programu CoIDE V2Beta. Jelikož však byla práce s tímto programem problematická a pomalá, byl na doporučení Ing. Dočekala vývoj přesunut do programu TrueSTUDIO for STM32 9.0.0. Spojení počítače a programované desky zajišťoval USB programátor ST Link V2 Mini Emulator. Firmware ostatních periferní zařízení, tedy vstupní, výstupní, senzorické i dalších pomocných desek byl vyvíjen v programu Atmel Studio 7.0. Jako programovací rozhraní pro periferie založené na mikrokontrolérech ATmega bylo použito rozhraní ISP vytvářené za pomoci programátoru USBasp, jenž byl řízen softwarem AVRDUDE ve verzi 5.11.

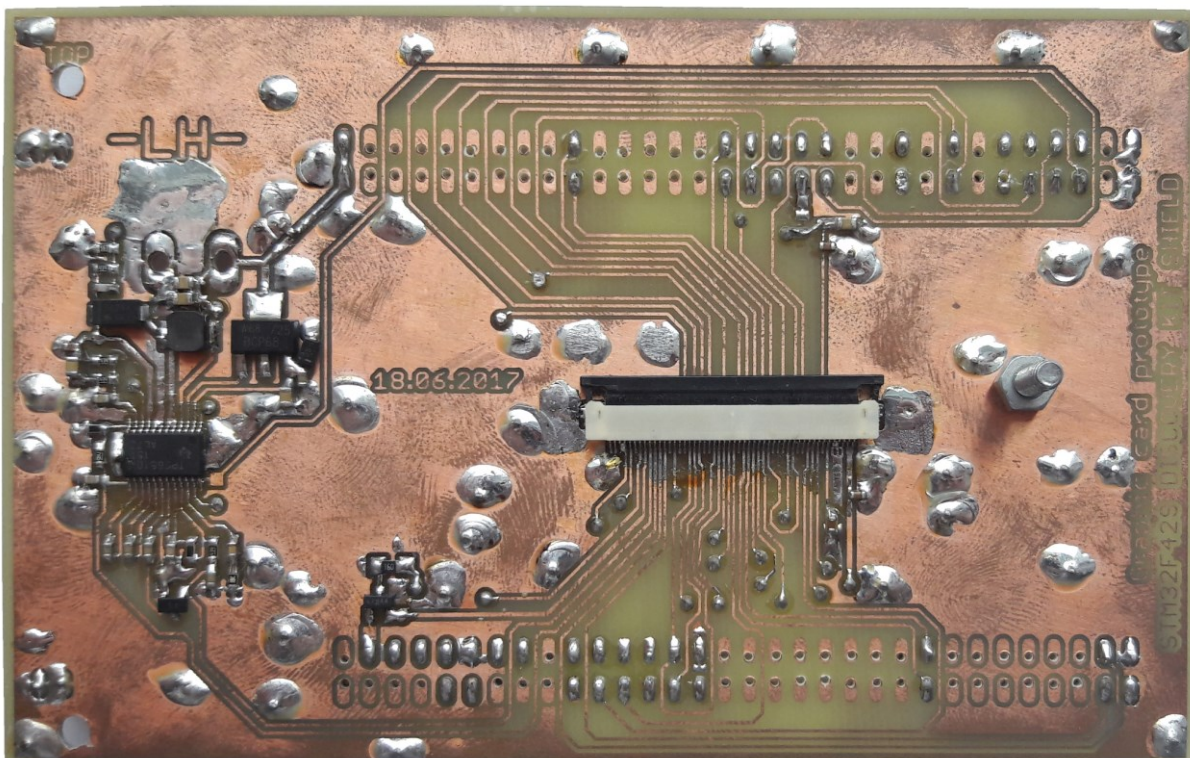
3.1 Demonstrátory funkce

Před začátkem návrhu konkrétních zařízení bylo potřeba odzkoušet funkčnost jednotlivých částí, neboť při jejich spojení do jednoho celku by bylo případné hledání chyb zapojení podstatně obtížnější.

3.1.1 Demonstrátor ovládání grafického displeje

Pro demonstraci funkčnosti grafického displeje společně s mikrokontrolérem STM32F429 využívajícím rozhraní DPI byl navržen a realizován takzvaný „shield“ pro vývojovou platformu STM32F429I-DISCO.

Jelikož zvolený displejový panel AT070TN90 neobsahuje integrované měniče napětí, je potřeba tato napětí přivést z externích zdrojů. Pro vytvoření potřebných napětí byl s výhodou použit integrovaný obvod TSP65100, který je přímo určen pro napájení LCD panelů, neboť disponuje třemi výstupy a funguje s jediným pětivoltovým napájením. První výstup je silový o napětí až +15 V a s proudem až 350 mA. Druhý výstup je vyveden ze záporné nábojové pumpy a poskytuje až -12 V s maximálním odběrem 20 mA. Třetí výstup je rovněž napojen na nábojovou pumpu, ale kladnou, a je schopen dodat až +30 V při 20 mA. Součástí integrovaného obvodu je i lineární stabilizátor, ke kterému je potřeba dodat externí NPN tranzistor, tento výstup však nebyl použit.



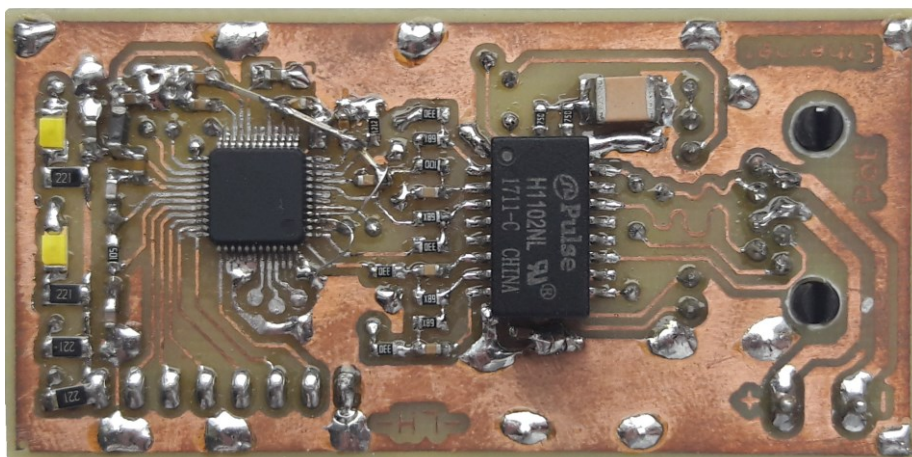
Obrázek 4 – Demonstrátor pro ovládání grafického displeje

Vyrobený demonstrátor se ukázal jako funkční, objevil se však problém s rychlostí použitého mikrokontroléru, respektive špatnou synchronizací s externí operační pamětí. Po řadě neúspěšných pokusů s úpravou časování a synchronizací jednotlivých interních periférií mikrokontroléru nakonec bylo dosaženo požadovaného zobrazování grafiky na displeji, a to díky rozdělení pracovní a aktivní obrazovky v externí operační paměti. Vývoj tak mohl pokračovat dále.

3.1.2 Demonstrátor pro ověření funkčnosti Ethernetového rozhraní

Před implementací ethernetového rozhraní na výslednou hlavní řídicí desku bylo potřeba vyzkoušet, zda výrobcem dodávané schéma zapojení opravdu funguje dle předpokladů. S tím je spojena tvorba programové knihovny pro zvolený integrovaný obvod W5500 od firmy WIZnet.

Tento obvod obsahuje fyzickou vrstvu pro ethernetové připojení rychlostí 10/100 Mb/s a k tomu celou rodinu protokolů TCP/IP. Pro komunikaci s nadřazeným mikrokontrolérem je k dispozici rozhraní SPI o rychlosti až 80 MHz. Dále je na čipu integrováno 32 kB paměti pro vysílací a přijímací buffery s podporou až osmi současně používaných soketů. Vše je uzavřeno do 48vývodového LQFP pouzdra určeného pro povrchovou montáž. Pro správnou funkci je potřeba napájení +3,3 V, vstupně-výstupní vývody však tolerují pětivoltové signály.



Obrázek 5 – Demonstrátor pro ověření funkčnosti Ethernetového rozhraní

Při oživení se ukázalo, že jednotlivé části čipu nejsou správně napájeny, bylo tedy potřeba napájecí cesty upravit pomocí drátů. Tato rychlá, byť nevzhledná metoda, se ukázala jako dostatečná a ethernetová komunikace byla rázem funkční. Následně poté bylo přistoupeno k vytvoření programové knihovny a implementaci potřebných funkcí pro ověření schopností zvoleného integrovaného obvodu.

3.2 Hlavní řídicí deska

V topologii systému se jedná o nejvýše postavené zařízení, které se označuje jako „master“. Toto zařízení tak má za úkol získávat data z jednotlivých podružných periférií a takto získaná data jsou poté předána obsluze systému. Hlavní řídicí deska tak musí obsahovat takzvané HMI („human-machine interface“), tedy rozhraní pro interakci mezi uživatelem a strojem.

3.2.1 Návrh schématu zapojení a desky plošných spojů

Základní zapojení použitého mikrokontroléru STM32F429ZI vychází z vývojové desky STM32F429I-DISCO, která byla použita při vývoji demonstrátoru připojení grafického displeje. Kromě zapojení externí operační paměti (IS42S16400J-7TLI) o velikosti 64 Mb a grafického displeje s řadičem AT070TN90 spolu s obslužným čipem dotykové vrstvy (FT5426) bylo využito i zapojení hodin reálného času doplněného o záložní napájení skrze držák baterií typu CR20XX¹. Následně však byly přidány další periferie.

Jelikož bylo pro napájení všech zařízení na sběrnici použito napětí 24 V, je potřeba toto napětí snížit na úroveň vhodnou pro napájení použitých integrovaných obvodů. Jedná se hlavně o +5 V a +3,3 V. K tomuto účelu byly vybrány integrované měniče napětí TSR 1-2450 pro pětivoltové napájení, potažmo TSR 1-2433 pro napětíovou úroveň 3,3 V. Oba měniče jsou schopny dodat trvalý proud až 1 A. Výhodou měničů oproti běžně používaným lineárním stabilizátorům typu 78XX je podstatně vyšší účinnost při daném zatížení a s tím spojené i výrazně nižší generované ztrátové teplo. Použité měniče tak není potřeba doplňovat o přídavné chladiče.

Použitý displej je vybaven LED podsvícením, přičemž výrobce garantuje životnost tedy pokles jasu na polovinu původní hodnoty nejdříve po 20 000 hodinách provozu za podmínky, že proud zabudovaných LED nepřesáhne 180 mA. Typické napětí LED při tomto proudu je 9,9 V. Snížení

¹ Možno použít CR2016, CR2025 nebo CR2032, případně ekvivalenty

napájecího napětí 24 V na napětí potřebné pro podsvícení lze řešit řadou způsobů. Nejjednodušší z nich, použití předřadného rezistoru, je v případě této aplikace nevhodné, neboť napájecí napětí může kolísat, což by následně vedlo k poklesu jasu displeje. Zároveň by mohlo dojít k překročení maximálního povoleného proudu LED (200 mA). Rovněž by docházelo k výkonovým ztrátám na rezistoru v řádu jednotek wattů a s tím spojenou produkcí tepla. Proto bylo přikročeno k použití dedikovaného měniče s proudovým výstupem. Vzhledem k omezené dostupnosti, respektive vysoké ceně měničů s maximálním proudem 200 mA, byl zvolen výkonnější typ schopný trvale dodávat až 300 mA. Použitý integrovaný měnič LDD-300L disponuje pinem umožňujícím regulaci výstupního proudu. Regulace je založená na změně střídy přiváděného signálu PWM s rozsahem frekvencí 100 Hz až 1 kHz. Střída je přímo úměrná výstupnímu proudu, střída 1:1 tedy odpovídá výstupnímu proudu 150 mA. Program mikrokontroléru byl na tuto hodnotu omezen, funkce ovládající PWM výstup mikrokontroléru tedy neumožňuje tento proud přesáhnout, čímž je zamezeno poškození LED panelu pro podsvícení nadproudem. [25]

Síťovou komunikaci zajišťuje externí obvod W5500, jehož funkcionalita byla rovněž ověřena pomocí demonstrátoru. Implementace do schématu, respektive napojení k mikrokontroléru tak proběhlo bez problému. Stejně tak proběhlo i napojení zdroje pro displej, neboť ten byl rovněž nejprve vyzkoušen prostřednictvím demonstrátoru.

Zapojení ethernetového konektoru umožňuje takzvané PoE, tedy přivedení napájení (v tomto případě +24 V) skrze jeden ethernetový kabel společně s daty. Tato funkce však zatím nebyla v projektu využita.

Napojení na komunikační sběrnici RS485 zajišťuje obvod ST485. Jedná se o integrovaný převodník z rozhraní UART na diferenciální sběrnici RS485, je však kompatibilní i se sběrnici RS422. Zapojen je dle katalogového zapojení, přičemž piny pro povolení vysílání a pro povolení přijímání jsou spojeny, nicméně díky interní inverzní logice každého z pinů je v jednu chvíli aktivní pouze jedna jednotka čipu, tedy pouze vysílač či pouze přijímač. Toto zapojení snížilo potřebný počet ovládacích pinů použitého mikrokontroléru.

Jelikož některá jednodušší či starší zařízení umožňují datovou komunikaci pouze přes rozhraní RS232, bylo přistoupeno k implementaci i tohoto rozhraní, a to za pomoci integrovaného převodníku ST232. Tento integrovaný obvod díky zabudovanému zdvojovači i invertoru napětí zajišťuje napěťovou kompatibilitu se zařízeními vyžadujícími ke své spolehlivé funkci bipolární napětí². Integrovaný obvod disponuje dvěma kanály, lze tedy připojit dvě různá zařízení vyžadující pouze vysílací a přijímací pin nebo jedno zařízení využívající kromě zmíněných pinů také piny pro řídicí signály. Pro větší univerzálnost bylo napojení datových pinů převodníku na mikrokontrolér přerušeno pájitelnými propojkami a piny mikrokontroléru disponující dvěma nezávislými jednotkami UART byly společně s napájením +5 V a +3,3 V vyvedeny na kolíkovou lištu s roztečí 2,54 mm. Díky tomu je možné využít sériovou linku i pro přímé připojení dalších mikroprocesorových periférií či modulů, jakými jsou například čtečky otisků prstů nebo čtečky RFID karet.

Pro možné budoucí použití byly k mikrokontroléru připojeny 3 typy externích nevolatilních pamětí, tedy takových, které si i po výpadku napájení zachovávají uložená data. První z nich je dnes velmi rozšířená SD karta, která je využívána zejména pro svou vysokou datovou kapacitu v řádech desítek až stovek gigabajtů. Zároveň je možné tyto paměťové karty provozovat s řadou souborových systémů,

² Dle standardu $\pm 3 \dots 25$ V [43]

díky čemuž je možné uložená data přečíst prakticky na libovolném zařízení. Nevýhodou komerčních SD karet je jejich krátká životnost, respektive nízký počet přepisů jednotlivých paměťových buněk. Výše uvedené vlastnosti tak tyto paměťové karty předurčují zejména pro uložení základní konfigurace (například adresy zařízení) či k jednorázovému exportu dat (například zaznamenané údaje o chybách a jejich příčinách na komunikační sběrnici). Naopak nejsou vhodné k periodickému ukládání dat, například k zaznamenávání teplot v promítací kabině. V této aplikaci byl kvůli úspoře místa zvolen konektor v provedení Micro SD.

Druhým typem připojené nevolatilní paměti je externí Flash paměť. Výhodou tohoto typu paměti je jejich delší životnost a vyšší počet přepisů jednotlivých paměťových buněk. Běžně dostupné jsou až do velikosti 64 Mb (například AT25SF641). Tento typ paměti je vhodný pro méně časté, ale periodické ukládání dat. Příkladem může být záznam specifických aktivit, jakými může být uložení aktuálního počtu a času zapnutí zařízení.

Posledním úložištěm připojeným k mikrokontroléru je paměť typu FRAM. Opět se jedná o nevolatilní paměť, která však vyniká rychlostí zápisu a velmi vysokým počtem³ možných přepisů jednotlivých paměťových buněk. Typickou aplikací jsou často se opakující děje, které jsou však datově nenáročné. Příkladem může být zaznamenávání aktuálního stavu prostředí (teplota, vlhkost, tlak, ...) pro další zpracování, například průměrování či hledání extrémů. Nevýhodou tohoto typu paměti je nízká datová kapacita, která se pohybuje v řádech desítek či stovek kilobitů. Příkladem použité paměti o velikosti 64 kb je integrovaný obvod FM25CL64B.

I když bylo cílem vytvořit pouze oboustrannou desku plošných spojů, jelikož u té lze poměrně snadno vytvořit prototyp v domácích podmínkách, nakonec bylo potřeba přejít na čtyřvrstvou DPS. V průběhu návrhu jednotlivých cest vedoucích od mikrokontroléru k externí operační paměti bylo zjištěno, že umístění potřebných prokůvů neúměrně prodlužuje jednotlivé cesty a vznikla obava, zda vzájemné mnohonásobné křížení cest společně s jejich rozdílnou délkou umožní spolehlivý chod zařízení. Proto bylo po konzultacích přikročeno k přidání dalších dvou vrstev, které byly vyhrazeny pouze pro napájení, tedy +3,3V a nulový potenciál. Tyto vrstvy jsou umístěny uvnitř plošného spoje, datová spojení jednotlivých součástek jsou umístěny vně, tedy co možná nejdále od sebe, díky čemuž byla snížena pravděpodobnost jejich vzájemného rušení. Zároveň tak byla uvolněna plocha, kterou předtím zabíraly napájecí vodiče, a tak byla tato plocha použita pro alespoň částečnou kompenzaci vzájemných délek příslušných datových vodičů.

3.2.2 Konstrukce zařízení

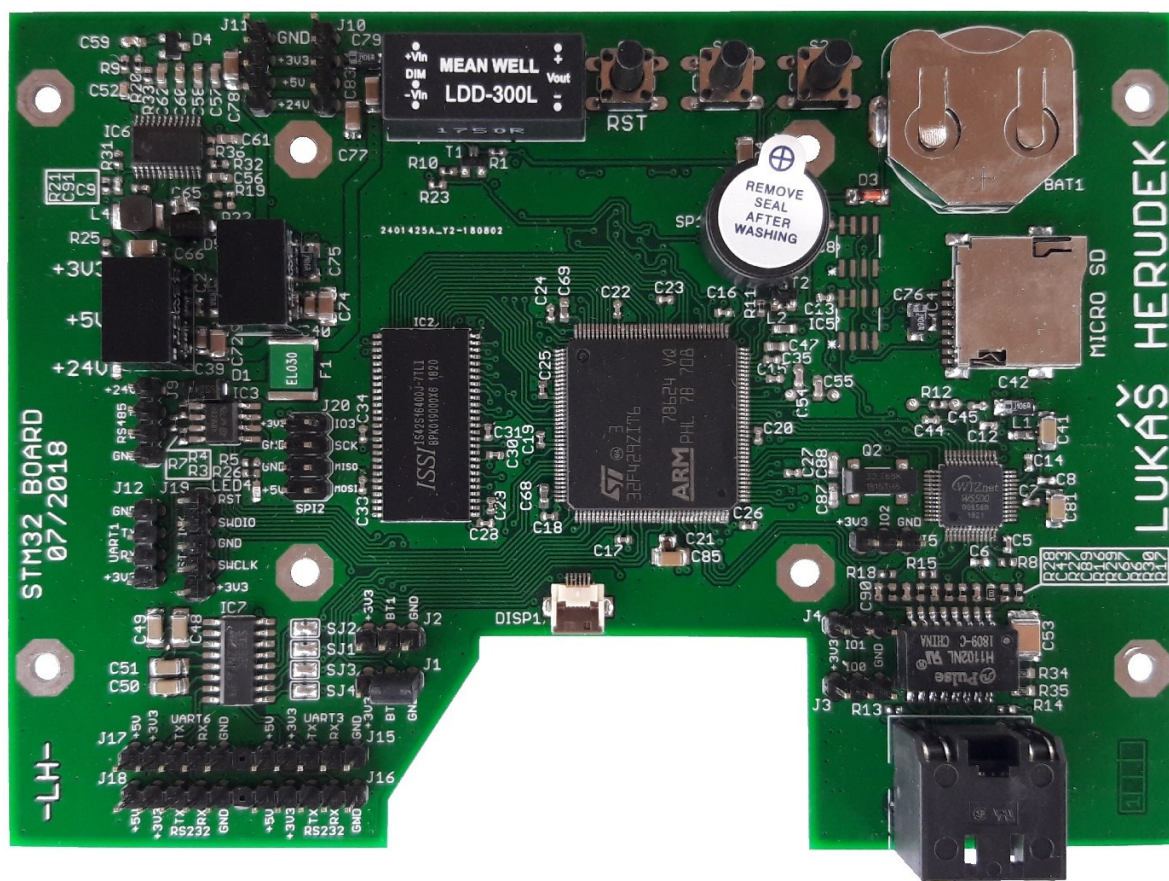
Osazení prvního kusu proběhlo za pomoci nanesení pájecí pasty, která byla po umístění integrovaných obvodů na příslušná místa přetavena v infrapecí. Vzhledem k absenci SMT planžety, která se běžně pro osazení používá, však došlo k nedokonalému připájení některých vývodů, zatímco některé vývody integrovaných obvodů byly slity v jeden celek. Oprava těchto nedostatků následně proběhla použitím klasické mikropáčky, která rovněž posloužila pro osazení pasivních prvků, konektorů a jiných THT součástek. První kus nebyl osazen napěťovým měničem s výstupem s konstantním proudem pro LED panel zajišťující podsvícení displeje, přičemž k napájení podsvícení byl použit výstup měniče určeného pro napájení samotného panelu z tekutých krystalů použitého displeje. Tato úprava umožňuje provozovat zařízení již při napájení +5 V, což je velmi výhodné při vývoji firmwaru, neboť

³ Výrobce udává až 10^{14} operací

není potřeba externího napájení; pětivoltové napájení je dodáno použitým programátorem ST Link V2 Mini. Jas displeje však nelze regulovat a rovněž nedosahuje takové intenzity jako v případě použití proudového měniče, jelikož zvyšující měnič pro LCD není schopný dodat dostatečný proud.

Druhý kus byl kompletně osazen za pomoci mikropáčky, zde se žádné problémy neobjevily a zařízení bylo po osazení plně funkční. V tomto případě však již byl napěťový měnič s výstupem s konstantním proudem osazen.

Po kontrole osazení tak bylo přistoupeno k tvorbě programového vybavení mikrokontroléru. Funkčnost jednotlivých periférií byla odzkoušena právě za pomoci osazených dvou kusů.



Obrázek 6 – Hlavní řídicí deska

3.3 Univerzální periferní řídicí deska

Při navrhování jednotlivých potřebných periférií distribuovaného systému bylo zjištěno, že některé periférie, zejména ty základní jako vstupní a výstupní, v podstatě vyžadují z velké části podobné komponenty. Bylo tak rozhodnuto vytvořit společnou řídicí desku, která by byla z části univerzální a mohla tak být vyrobena ve více kusech najednou, což snižuje pořizovací náklady a zároveň je potřeba méně náhradních dílů v případě poruchy. Deska byla navržena do krabiček řady GAINTA DxMG⁴ na DIN lištu, přesněji do její vrchní – (zúžené) části. Šířka desky předurčuje použití v minimálně

⁴ Například D6MG nebo D9MG

šestipoziční DIN krabička. Ve spodní části krabičky zůstalo dost místa pro případné specifické periferie, jakými mohou být například relé (výstupní deska) nebo optočleny (vstupní deska).

3.3.1 Návrh schématu zapojení a desky plošných spojů

Základem schématu je mikrokontrolér ATmega324PB, jenž představuje inovovanou řadu dobře známých mikrokontrolérů od firmy Microchip Technology (dříve Atmel Corporation), která přináší větší množství periférií. Pouzdro TQFP se 44 piny skrývá kromě standardních 39 diskrétně programovatelných pinů i analogově-digitální převodník s postupnou aproximací a 8 multiplexovanými vstupy, 5 čítačů/časovačů, 3 rozhraní USART, 2 SPI nebo třeba 2 I²C rozhraní. K tomu je přímo na čipu integrováno 32 kB programové paměti, 2 kB operační paměti a 1 kB paměti typu EEPROM. Maximální taktovací frekvence je výrobcem určena na 20 MHz, což odpovídá až 20 milionům vykonaných operací za sekundu. I přesto, že mikrokontrolér obsahuje integrovaný oscilátor, bylo v zapojení použito externího krystalu dosahujícího větší přesnosti taktování tak, aby byla zajištěna stabilnější přenosová rychlost asynchronního rozhraní UART, jež následně ovládá sběrnici RS485 skrze převodník integrovaný do obvodu s označením MAX485.

Napájení analogové části mikrokontroléru je možné dvěma způsoby. Pokud není vyžadována velká přesnost či stabilita, že možné využít přítomného napětí +5 V. V opačném případě je možno využít externí napájení přivedené na konektor K3, kde se mimo jiné nachází také vstup referenčního napětí doplněný o filtrační kondenzátor. Volba se provádí pájecími ploškami, přičemž je v obou případech vstupní napětí filtrováno kondenzátory a feritovou perličkou.

Konektory pro připojení periferních obvodů k mikrokontroléru jsou rozděleny na dvě části a tvoří je standardní dvouřadá kolíková lišta s roztečí 2,54 mm. Programovací konektor ISP rozhraní je stejného typu.

Další významnou částí schématu je grafický monochromatický OLED displej s rozlišením 128 × 64 pixelů, jenž je založen na radiči SSD1306. Technologie použitého displeje se vyznačuje hlavně nízkou spotřebou a vysokým kontrastem bez nutnosti podsvícení.

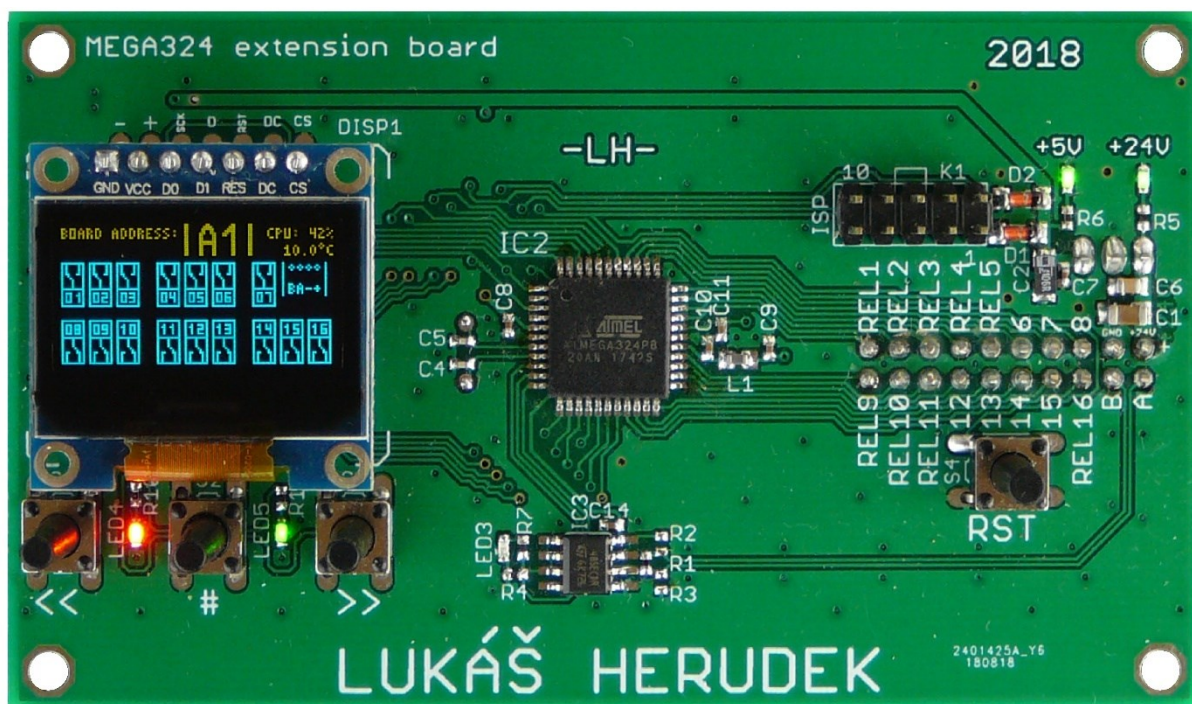
Jelikož bylo zvoleno napájecí napětí celého systému 24 V, bylo potřeba toto napětí snížit na úroveň 5 V pro napájení mikrokontroléru a ostatních součástek. Ke snížení tohoto napětí byl použit spínaný stabilizátor TSR 0.5-2450, jenž oproti klasickým lineárním stabilizátorům přináší vyšší účinnost a s tím spojené menší množství produkovaného tepla. To je výhodné zejména v případech, kdy je celý obvod uzavřen v krabičce s omezenou možností cirkulace vzduchu.

Kromě signalizačních LED a blokových kondenzátorů je možné ve schématu nalézt také 4 tlačítka – 3 uživatelská a jedno pro reset mikrokontroléru.

3.3.2 Konstrukce zařízení

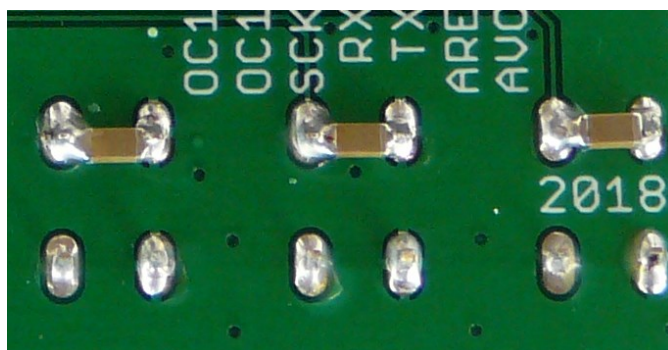
Deska plošných spojů byla navržena jako oboustranná. Vzhledem ke snaze o relativně malé rozměry a nízkou cenu byla většina součástek volena v provedení SMT. Pasivní prvky jsou velikosti 0402, což sice ztěžuje ruční osazení, na druhou stranu je ušetřena plocha DPS a rovněž je možné součástky umístit vhodněji – například blokové kondenzátory mohou být umístěny v těsné blízkosti napájecích vývodů integrovaných obvodů.

Vzhledem k jednoduchosti DPS nebyl vytvořen funkční vzorek a bylo rovnou přistoupeno k výrobě prototypu. Deska je opatřena zelenou nepájivou maskou a pájecí plochy jsou pocínovány. Osazení probíhalo standardně, přičemž displej byl místo přímého zapájení připojen skrze dutinkovou lištu. Toto osazení umožňuje snadnou výměnu displeje v případě poruchy.



Obrázek 7 – Univerzální řídicí periferní deska s programem výstupní periferie

Testování ukázalo, že zákmity tlačítek přinášení nepříjemné ovládání pro obsluhu. Při návrhu schématu bylo počítáno s ošetřením zákmitů tlačítek pomocí programu mikrokontroléru. Během vývoje se však ukázalo, že toho řešení není vhodné, neboť není přehledné a zbytečně vykonávání programu zpomaluje. K tlačítkům tak byly paralelně přidány kondenzátory s kapacitou 100 nF, jenž vyrovnávají napěťové špičky vznikající kmitáním mechanických kontaktů při sepnutí a rozepnutí. Hardwarové řešení je tak v tomto případě výhodnější.



Obrázek 8 – Dodatečné hardwarové řešení zákmitů tlačítek

Rovněž se ukázalo, že za nízkého okolního osvětlení má displej nepříjemně vysoký jas, byl proto programově nastaven na minimum. To kromě snížení spotřeby přinese i delší životnost světelného panelu. Jas je však možno libovolně měnit pomocí menu, jeho hodnota je následně uložena a při zapnutí je vždy znova nastaven na zvolenou hodnotu.

3.4 Výstupní periferie

Tato periferie slouží pro ovládání připojených zařízení. Hlavní komponentou je zde relé LEG-24F umožňující spínání odporové zátěže s parametry až 240 V/15 A. Celkem byla periferie osazena šestnácti na sobě nezávislými relé.

O ovládací logiku a ovládací rozhraní, stejně tak jako o připojení na komunikační sběrnici distribuovaného systému, se stará univerzální periferní řídicí deska. Spojení s výstupní periferií je zajištěno prostřednictvím dvouřadých kolíkových lišt, respektive jejich protikusů.

3.4.1 Návrh schématu zapojení a desky plošných spojů

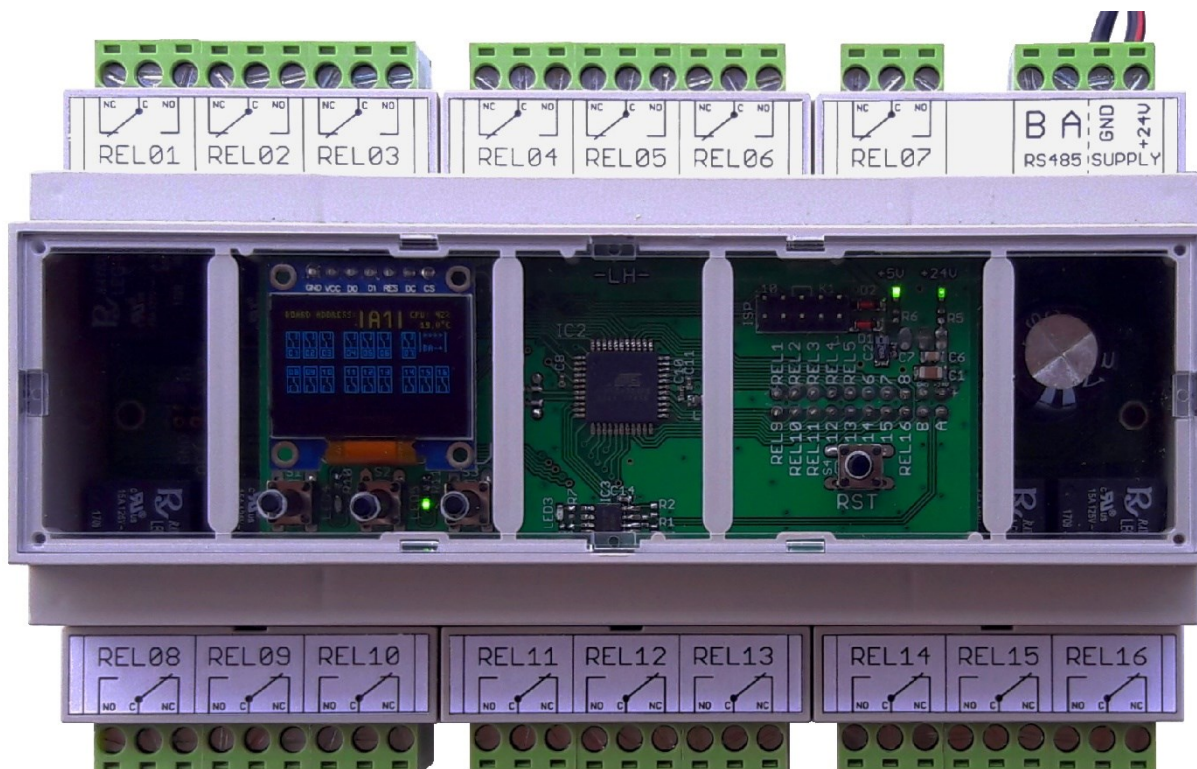
Jak již bylo řečeno, základní součástí je v tomto případě relé. Každé relé je doplněno o paralelní diodu zabráňující napětovým špičkám vznikajícím při vypínání indukivní zátěže. Dále je paralelně připojena LED indikující sepnutí relé. Spínání je řešeno NPN tranzistorem. Relé jsou vybavena přepínacím kontaktem, celkem jsou tedy z každého relé vyvedeny 3 cesty k příslušné svorkovnici. Tyto silové cesty jsou vedeny z obou stran plošného spoje, aby došlo k lepšímu rozložení proudu a vznikajícího tepla. Navíc jsou tyto cesty zbaveny nepájivé masky a byly tak pocínovány, což dále zvyšuje jejich schopnost přenášet velké proudy a přináší další ochranu plošného spoje v případě vyššího než přípustného proudu. Například při zkratu na spínaném zařízení sice dojde ke zničení spínacích kontaktů relé, nicméně silové cesty plošného spoje zůstanou bez poškození (nedojde k jejich odpaření v důsledku nadměrného proudového zatížení) a po výměně vadného relé je zařízení opět plně funkční.

Vstup napájení je chráněn diodou proti přepólování a také vratnou pojistkou, přičemž je napájení následně vedeno přes filtrační kondenzátory a indikační LED ke kontaktům relé a také do řídicí desky.

Tvar desky plošných spojů, jejíž okraj je tvořen frézovanými základy, ji předurčuje k osazení do spodní části krabičky GAINTA D9MG, jejíž šířka odpovídá devíti standardním pozicím prvků na DIN lištu.

3.4.2 Konstrukce zařízení

Výstupní periferie se skládá ze dvou částí. Univerzální řídicí deska je v horní (zúžené) části krabičky, přičemž spodní část vyplňuje deska s výstupními periferiemi. Mezi jednotlivými relé jsou vzduchové mezery, což umožňuje jejich lepší chlazení. Mezi relé 1 a 8 je umístěno teplotní čidlo, které je tak schopno detekovat případný nadměrný nárůst teploty v krabičce.



Obrázek 9 – Výstupní periferie ve finální krabičce pro umístění na DIN lištu

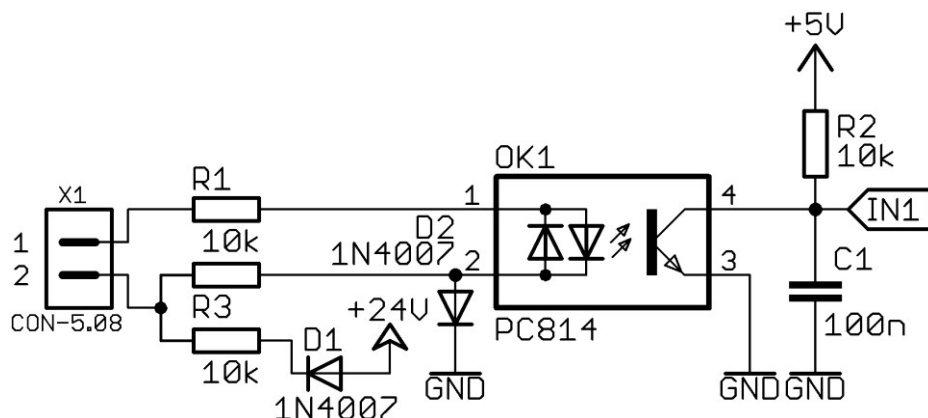
3.5 Vstupní periferie

Tato periferie slouží pro zjištění diskretního stavu připojených zařízení. Hlavní komponentou je zde optočlen LTV-814M-A s obousměrným vstupem. Vstupní periferie umožňuje buďto detekovat napětí na svém vstupu, nebo detekovat stisk tlačítka či spínače. Volba pracovní funkce se provádí osazením příslušných součástek.

3.5.1 Návrh schématu zapojení a desky plošných spojů

Základním požadavkem při návrhu schématu byla schopnost použít vstupy pro detekci napětí nebo pro detekci sepnutí. Toho bylo dosaženo sloučením příslušných schémat, přičemž osazeny jsou vždy jen určité součástky, které následně definují typ daného vstupu.

Součástky jako optočlen (OK1), vstupní konektor (X1), rezistor R1 a RC člen na výstupu (R2, C1) jsou osazeny vždy. Pokud je požadována funkce detekující napětí, je osazena horní větev společného pouzdra dvojitého rezistoru R3. Toto zapojení tak skrze rezistory zajistí přímé propojení vstupu optočlenu se vstupním konektorem, čímž dojde ke galvanickému oddělení tohoto vstupu. V případě konfigurace vstupu pro detekci sepnutí je potřeba osadit spodní větev dvojitého rezistoru R3 společně s diodami D1 a D2. Tyto diody zajistí přivedení napětí používaného při detekci, zároveň poskytnou základní ochranu proti zavedení cizího napětí do centrálního napájení.



Obrázek 10 – Ukázka zapojení multifunkčního vstupu

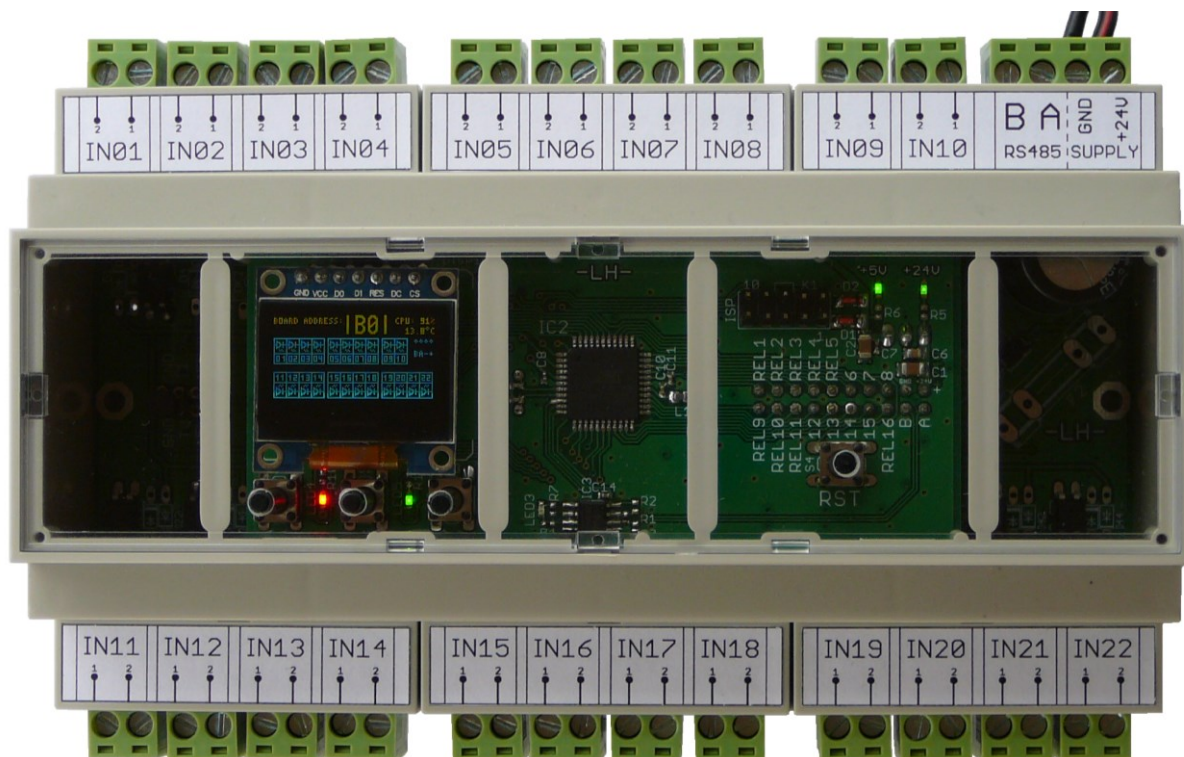
Deska plošných spojů je navržena tak, aby umožnila zapojení vstupu buďto ve formě detekce sepnutí (při připojení spínače či tlačítka), nebo pro diskretní detekci přivedeného napětí. V případě detekčního zapojení je důležité rozlišit mezi malonapětovým (12 až 24 V) a nízkonapětovým vstupem (230 V). Vstupy nejsou citlivé na polaritu připojeného napětí.

Vstupy určené pro tlačítka používají pracovní napětí 24 V. Proud jednotlivých vstupů je limitován sériovým zapojením dvou rezistorů s odporem 1 k Ω . Napájecí část, která je společná pro všechny vstupy, je limitována rezistorem 47 Ω a pojistkou s maximálním pracovním proudem 100 mA. Vstupy pro snímání stavu tlačítek či spínačů jsou kromě polaritních diod rovněž chráněny transilem proti napětí přesahujícímu 31 V. V případě chybného připojení síťového napětí 230 V na tyto vstupy tak dojde k přepálení tavné pojistky a zbytek systému zůstane nadále funkční.

3.5.2 Konstrukce zařízení

Obdobně jako u výstupní periferie se i vstupní periferie skládá ze dvou částí, přičemž vstupní část se nachází vespod krabičky. Jelikož má vstupní periferie pouze dvou vodičové vstupy, těchto vstupů zde bylo možno umístit až 22 oproti 16 výstupům u reléové periferie.

Pro odzkoušení funkčnosti obou variant byly vyrobeny dva kusy, každý s jinou konfigurací vstupů. U kusu určeného k detekci napětí byly vstupy dále rozlišeny na malonapětové a nízkonapětové. Celkem tak byly využity a odzkoušeny všechny konstrukční varianty, všechny se ukázaly jako zcela funkční.



Obrázek 11 – Vstupní periferie ve finální krabičce pro umístění na DIN lištu

3.6 Senzorická periferie

Tato periferie slouží pro měření aktuálního stavu prostředí, případně dalších neelektrických veličin. Byť je možné obdobné funkce realizovat skrze univerzální řídicí jednotku periférií, pro ukázkou možnosti připojení odlišného typu zařízení na komunikační sběrnici bylo přistoupeno k návrhu speciálního zařízení s přesně definovaným účelem. Jelikož se v případě tohoto zařízení nepředpokládá umístění na DIN lištu, mohla být zvolena menší krabička pro zapouzdření zařízení.

Pro demonstraci schopnosti distribuovaného řídicího systému měřit a vyhodnocovat stav okolního prostředí byly k měření vybrány tyto vlastnosti vzduchu: teplota, relativní vlhkost, tlak a prašnost, potažmo přítomnost kouře.

3.6.1 Návrh schématu zapojení a desky plošných spojů

Základem senzorické periferie je levný a velmi rozšířený mikrokontrolér ATmega328P v provedení pro povrchovou montáž⁵, který byl vybrán mimo jiné i pro své malé rozměry. Vybrané piny portu A byly vyvedeny na příslušné konektory, skrze které jsou následně připojeny dané senzory. Piny umožňují jak měření analogové hodnoty skrze zabudovaný analogově-digitální převodník, tak i hardwarovou obsluhu rozhraní I²C. Rovněž byly vyvedeny dva piny z portu B, ty umožňují interní připojení na generátor signálu PWM.

Pro měření teploty jsou k dispozici konektory odpovídající pinovému rozložení senzorů DS18B20. Teplotu však rovněž dokáže měřit i senzor vlhkosti (zde použitý SHT10), stejně tak i senzor atmosférického tlaku BMP180. Posledním použitým senzorem je GP2Y1010AU0F. Jedná se

⁵ Pouzdro TQFP32.

o kompaktní senzor prašnosti založený na měření přítomnosti světlo odrážejících částic ve vzduchu pomocí infračerveného záření. Tento senzor neobsahuje digitální vyhodnocovací elektroniku, výstupem je pouze analogový signál odpovídající odrazivosti měřeného vzduchu. Nejedná se tak o absolutní měřidlo prašnosti, není kalibrováno, a proto má spíše demonstrační charakter. Přesto jím lze detekovat strmý nárůst nečistot ve vzduchu, je tak v omezené míře možné použít jej jako výstražný systém v případě zakouření měřených prostor.

Kromě použitých senzorů má mikrokontrolér na své piny připojeny i další periferie. Samozřejmostí je převodník rozhraní UART na napěťové úrovni sběrnice RS485 založený na integrovaném obvodu MAX485. Dále mikrokontrolér ovládá dvě LED a čte stav jednoho uživatelského tlačítka, druhé slouží pro reset zařízení.

Napájení integrovaného A/D převodníku je filtrováno skrze feritovou perličku doplněnou o blokovací kondenzátory.

Jako zdroj hodinového signálu pro mikrokontrolér je zde použit krystal o frekvenci 16 MHz. Ten oproti integrovanému RC oscilátoru zaručuje dostatečnou přesnost časování asynchronní komunikace přes sběrnici RS485, respektive rozhraní UART.

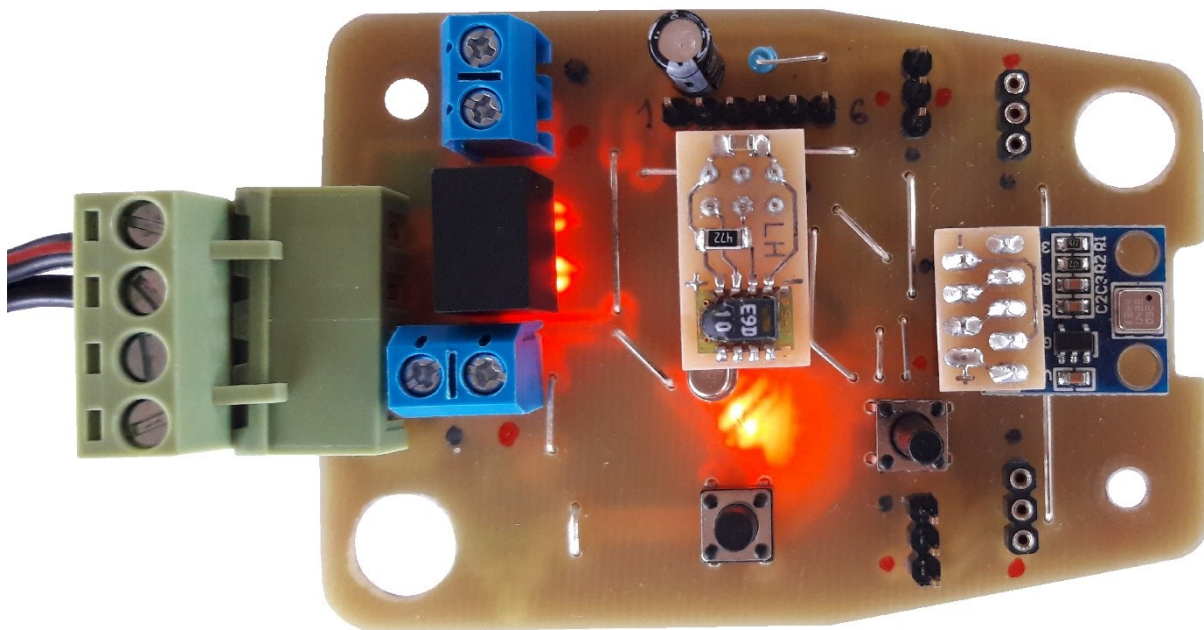
Zbylé součástky zapojení zajišťují pětivoltové napájecí napětí pro mikrokontrolér a použité senzory. Hlavní napájení přivedené společně s komunikační sběrnicí skrze čtyřpinovou rozpojovací svorkovnici je po kontrole polarity diodou D3 a skrze polymerovou pojistku dovedeno na vstup stejnosměrného spínaného měniče napětí TSR 0.5-2450. Ten je doplněn o příslušné filtrační a blokovací kondenzátory. Zapojení umožňuje osadit místo měniče pinově kompatibilní lineární stabilizátor, ten však nebyl z důvodu vyšší produkce tepla použit.

Plošný spoj byl navržen tak, aby pokud možno co nejlépe vyplnil prostor krabičky a zároveň umožnil připojení senzorů skrze konektory. Senzory tak nejsou umístěny přímo na desce, což usnadní jejich výměnu v případě poruchy či kontroly jejich funkce.

3.6.2 Konstrukce zařízení

Vzhledem k relativně nízkému počtu součástek a jednoduchosti jejich zapojení i následného rozmístění na plošném spoji bylo přistoupeno k návrhu a výrobě pouze jednostranné desky plošných spojů. Deska tak byla vyrobena v domácích podmínkách, čemuž odpovídá i její vzhled.

Před osazením do černé krabičky s ventilačními otvory byly připojeny senzory a odzkoušena jejich funkčnost. Zařízení jako celek bylo poté osazeno na demonstrační panel přímo bez osazení na DIN lištu.



Obrázek 12 – Senzorická periferie připravená k osazení do krabičky

3.7 Distribuční deska

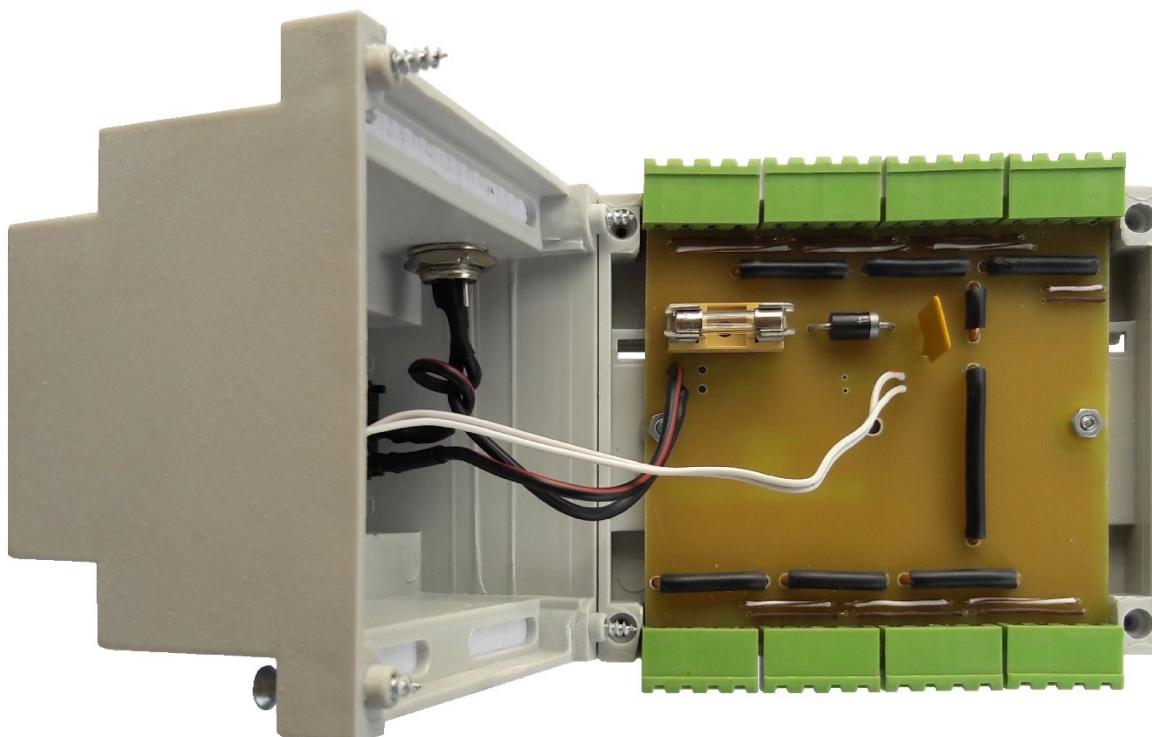
Distribuční deska má za úkol pospojovat jednotlivé periferie distribuovaného systému – kromě datového propojení poskytuje také hlavní napájení. Tato konkrétní distribuční deska umožňuje připojení pouze osmi zařízení, což však pro základní zapojení a testování systému postačuje.

3.7.1 Návrh schématu zapojení a desky plošných spojů

Schéma zapojení je v podstatě rozděleno na dvě části. První z nich jsou samotné vzájemně propojené rozpojovací svorkovnice určené pro připojení sběrnicových zařízení, druhou část tvoří přívod napájení z centrálního zdroje. Ten je nejprve veden na signalizační LED a spínač. Vstupující napětí je poté vedeno skrze tavnou pojistku a diodu zajišťující jeho korektní polaritu na další signalizační LED, která poskytuje informaci o stavu tavné pojistky. Napětí je dále vedeno skrze vratnou polymerovou pojistku. Výsledné napětí je poté přivedeno přímo na jednotlivé vzájemně propojené konektory. Přítomnost napětí na výstupu je signalizována další LED. Díky přítomnosti signalizačních LED je v případě poruchy okamžitě možné zjistit aktuální stav distribuční desky, tedy zda došlo k aktivaci nadproudové vratné pojistky, zkratové tavné pojistky nebo došlo k přerušení přívodu napájení ze strany centrálního zdroje +24 V.

3.7.2 Konstrukce zařízení

Jelikož se z hlediska návrhu jedná o velmi jednoduché zapojení, byla pro realizaci vybrána pouze jednostranná DPS, kterou je možné velmi snadno vyrobit. Propojení napájecích pinů rozpojovacích svorkovnic bylo řešeno z jedné části polygonem (nulový potenciál), zatímco napětí +24 V bylo vedeno sérií měděných propojek vytvořených z drátu o průřezu 2 mm². Přívod je tak dostatečně dimenzován i pro případy selhání použitých nadproudových ochran.



Obrázek 13 – Distribuční deska pro připojení osmi periférií

Ochrana napájecího zdroje, stejně tak i připojených zařízení, je koncipována tak, že při zkratu dojde k přepálení tavné pojistky a tím dojde k odpojení celého distribuovaného systému od centrálního napájení. Polymerová pojistka má díky pomalejší reakci za úkol ochránit zdroj zejména před dlouhodobějším nadměrným proudovým zatížením. K aktivaci vratné pojistky může dojít i v případě zkratu, v takovém případě je však žádoucí zejména vybavení tavné pojistky, neboť ta donutí obsluhu systému k zásahu a odstranění příčiny daného problému.

3.8 Hlavní napájecí zdroj

Základ zapojení tvoří zakoupený průmyslový spínaný zdroj stabilizovaného napětí připojený na síťových 230 V střídavých, přičemž výstupem je +24 V stejnosměrných. Maximální trvalý proud udávaný výrobcem je 5 A, celkově je tak zdroj schopen trvale poskytnout zařízením připojeným na jeho výstupu až 120 W. Zdroj je vybaven ochranou proti přehřátí i pro případ nadproudu či zkratu.

Zdroj jako takový nijak neřeší výpadek síťového napájení. Záložní zdroj, pokud by byl potřeba, by bylo nejlépe řešit ve formě takzvané UPS. Toto řešení sice nedosahuje efektivity zapojení záložního zdroje přímo na 24V napájení, nicméně je z hlediska realizace nejjednodušší a nejbezpečnější, neboť se předpokládá použití kvalitního záložního zdroje třetí strany se správou a monitoringem používaného akumulátoru. Rovněž je tento způsob realizace vhodnější do míst, kde je záložní napájení řešeno centrálně (například serverovny). V případě použití samostatného záložního zdroje pouze pro tento distribuovaný řídicí systém by snadno mohlo dojít k tomu, že systém vlastně nemá co ovládat, neboť ostatní zařízení jsou bez napájení. Opakem by mohla být situace, kdy nějaká zařízení mají své záložní napájení, ale záložní zdroj řídicího systému by již byl vybit a tato zařízení by tak šla ovládat pouze manuálně. To by však mohlo při náhlém vypnutí řídicího systému způsobit určité hazardní stavy (například motor pro ostření promítačky by byl v době vypnutí řídicího systému v chodu a zůstal by v něm do manuálního vypnutí).

3.8.1 Zapojení zdroje

Síťové napětí je přivedeno do krabičky s hlavním prosvětleným vypínačem skrze standardní napájecí konektor⁶ známým například ze stolních počítačů. Tento typ konektorů je značně rozšířen a k dispozici je tak množství různých kabelů různých délek i tvarů vidlic. Není tak potřeba vyrábět speciální kabel pro připojení hlavního napájení. Z vypínače je síťové napětí vedeno přes běžný jistič s vypínací charakteristikou B a nominálním proudem 6 A. Napájecí kabely, včetně uzemnění, jsou poté do samotného spínaného zdroje přivedeny pomocí klasické šroubovací svorkovnice na jeho čelní straně.



Obrázek 14 – Zapojení hlavního zdroje pro napájení distribuovaného systému

⁶ Běžně označován jako EURO konektor, případně jako IEC320/C14

4 Návrh a implementace řídicího softwaru

Prvním krokem při vytváření programového vybavení jednotlivých zařízení bylo zapotřebí definovat společný komunikační protokol. Ten byl následně implementován do všech zařízení díky vytvoření jednotných knihoven. Specifické funkce poté byly upraveny dle konkrétní periferie.

Při návrhu řídicích programů byla snaha přenést co možná nejvíce funkcí na daná periferní zařízení, a to za dvěma účely. Prvním z nich je snaha ušetřit výpočetní čas hlavní řídicí jednotce, která tak může být použita pro jiné účely – například zpracovávání komunikace přes rozhraní Ethernet. Druhým důvodem je schopnost periférií generovat či měřit přesné časové úseky, což není pomocí hlavní řídicí jednotky možné, neboť komunikační rozhraní nezaručuje přesný čas vyslání/doručení. Rovněž by mohly v případě zarušení sběrnice nastat nežádoucí stavy, kdy například motor pro ostření objektivu místo běhu v trvání 100 ms nedostane pokyn k vypnutí a zastaví⁷ se až po několika sekundách při dojetí do krajní polohy.

4.1 Komunikační protokol

Pro účely tohoto projektu byl vytvořen vlastní protokol pro komunikaci po sběrnici RS485, přičemž rychlost byla zvolena na 19 200 Bd. Jednotlivé pakety sestávají ze dvou částí.

Základem je hlavička, kterou tvoří metadata. Prvním bajtem je adresa příjemce, za ní následuje adresa vysílače. Dále je posíláno číslo příkazu, které sestává ze dvou bajtů, celkem je tedy k dispozici 65 536 různých příkazů. Poslední přenášenou informací je dvoubajtová délka zasílaných dat. Posledním bajtem hlavičky je pak kontrolní součet, jenž je vytvořen exkluzivním součtem (XOR) jednotlivých zasílaných bajtů.

Druhou část paketu tvoří samotná zasílaná data. Maximální délka dat je 65 536 bajtů, přičemž za zasláná data je přidán poslední bajt – obdobně jako v případě hlavičky se jedná o kontrolní bajt tvořený exkluzivním součtem jednotlivých datových bajtů.

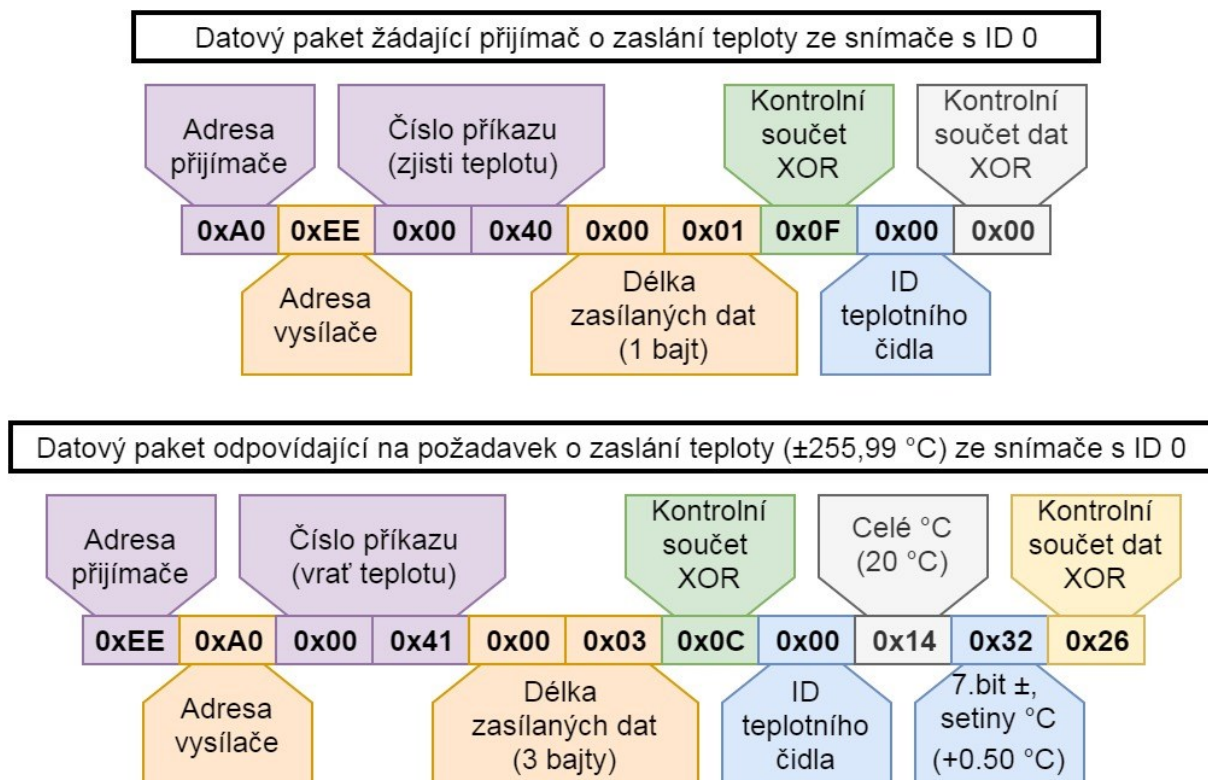
Pokud hlavička udává nulovou délku zasílaných dat, druhá část paketu je přeskočena a je zaslána pouze hlavička. Takovýchto zkrácených paketů se využívá zejména pro zpětnou signalizaci chyby, například chybu datového kontrolního součtu nebo přijetí neznámého příkazu.

Při přijetí určité chyby, tedy takové, která je rozpoznatelná přijímacím zařízením, je informace o chybě zaslána přímo zpět vysílači. Ten tak může zprávu opakovat. Příkladem může být nesouhlasná délka dat s počtem přijatých bajtů.

Pokud příjemce detekuje neurčitelnou chybu, tedy například chybný kontrolní součet hlavičky, neodesílá zpět žádnou informaci, neboť například kvůli rušení na sběrnici není známa ani adresa vysílače, ani adresa příjemce. Vzhledem k velkému počtu příjemců by v tomto případě docházelo ke kolizím, neboť by všechny současně odesílaly zprávu o chybně přijatých datech. Vysílač tak musí s touto situací počítat a v případě, že do určité doby nedostane zpět informaci o správně přijatých datech, své vysílání opakuje.

V obou případech je důležité zavedení počítadla opakování vysílání tak, aby nedošlo k zacyklení při neustále se vyskytujících chybách. Při testování se jako vhodné ukázalo dvojnásobné opakování, tentýž paket tak může být vysílán nejvýše třikrát. Poté je informace o problému na sběrnici signalizována obsluze (rozsvícení LED, nápis na displeji, ...).

⁷ Zastaví se výstupní hřídel motorového bloku, motor díky spojení skrze prokluzovou spojku běží dále



Obrázek 15 – Ukázka struktury paketů komunikačního protokolu

Ukázka paketů zobrazuje příklad komunikace, kdy vysílač žádá přijímač o teplotu naměřenou jedním z jeho čidel, konkrétně čidla s identifikačním číslem nula. Současná verze komunikačního protokolu přináší taková omezení, kdy lze maximálně adresovat 256 na sobě nezávislých teplotních čidel na jedné desce, respektive na jednom přijímači. Toto číslo se při návrhu komunikačního protokolu jevilo jako dostatečné pro běžné aplikace v promítací kabině, potažmo kinosále.

Odpověď o aktuální teplotě v zásadě sestává ze tří bajtů. Prvním je opět identifikační číslo teplotního čidla. Následující bajt udává teplotu v celých stupních Celsia. Třetí datový bajt je rozdělen na dvě části, přičemž sedmý bit udává znaménko (1 ~ '-', 0 ~ '+'), zbylých sedm bitů udává setiny stupně Celsia. Možný rozsah naměřených teplot je tedy $\pm 255,99\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabulka vybraných příkazů společně s informacemi o daných příkazech je součástí přílohy – Příloha č. 18.

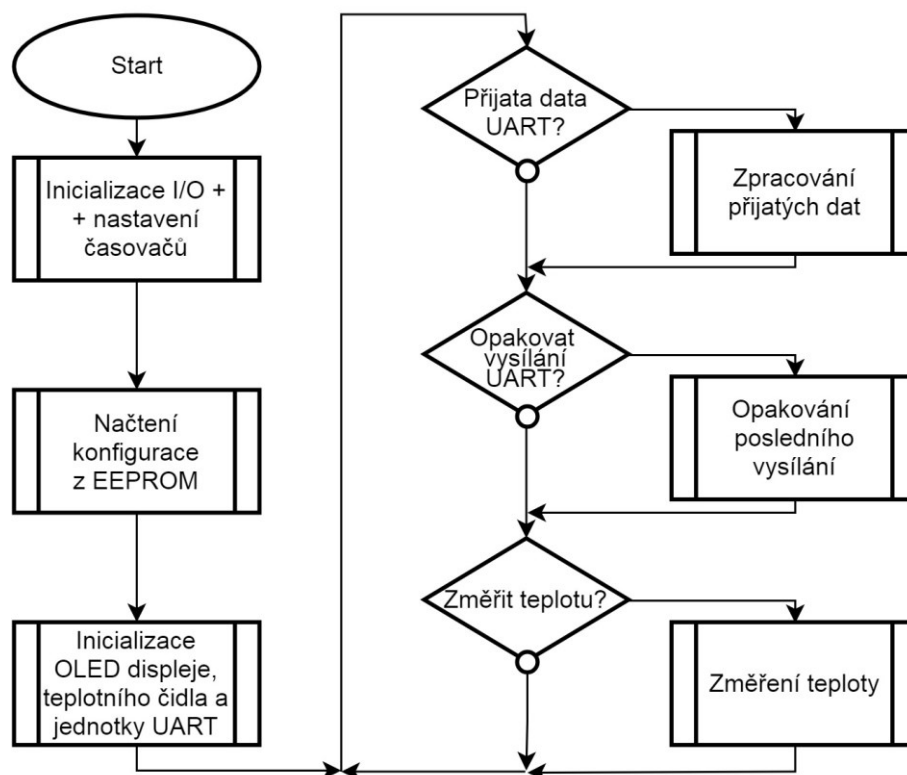
4.2 Softwarové vybavení vstupní a výstupní periferie

Tak jako u většiny programů pro mikrokontroléry je základem hlavní blok označovaný jako *main*, který se začne vykonávat po provedení resetu čipu. Nejprve program provede inicializaci vstupně-výstupních pinů, rovněž nastaví dva časovače pro cyklické volání funkcí – periodickou obnovu obrazovky OLED displeje a kontrolu stavu sběrnice RS485. Následuje načtení konfigurace z paměti EEPROM, která i při výpadku napájení uchovává důležitá data, zejména adresu zařízení a adresu hlavní řídicí desky. Tyto adresy záměrně nejsou v programu nastaveny napevno, pověřená obsluha je může kdykoli změnit, což umožňuje snadnou výměnu zařízení v případě poruchy, jelikož není potřeba pokaždé program měnit.

Před vstupem do hlavní nekonečné smyčky je ještě inicializován řadič OLED displeje a rovněž je konfigurováno čidlo teploty (pokud je detekováno). Jako poslední proběhne nastavení registrů jednotky

UART, čímž dojde k povolení odesílání a příjmu dat přes sběrnici RS485. Jednotka UART je inicializována s těmito parametry: 19 200 Bd, délka datového rámce 8 bitů, bez parity, jeden stop-bit. Tato konfigurace se běžně označuje jako 8N1.

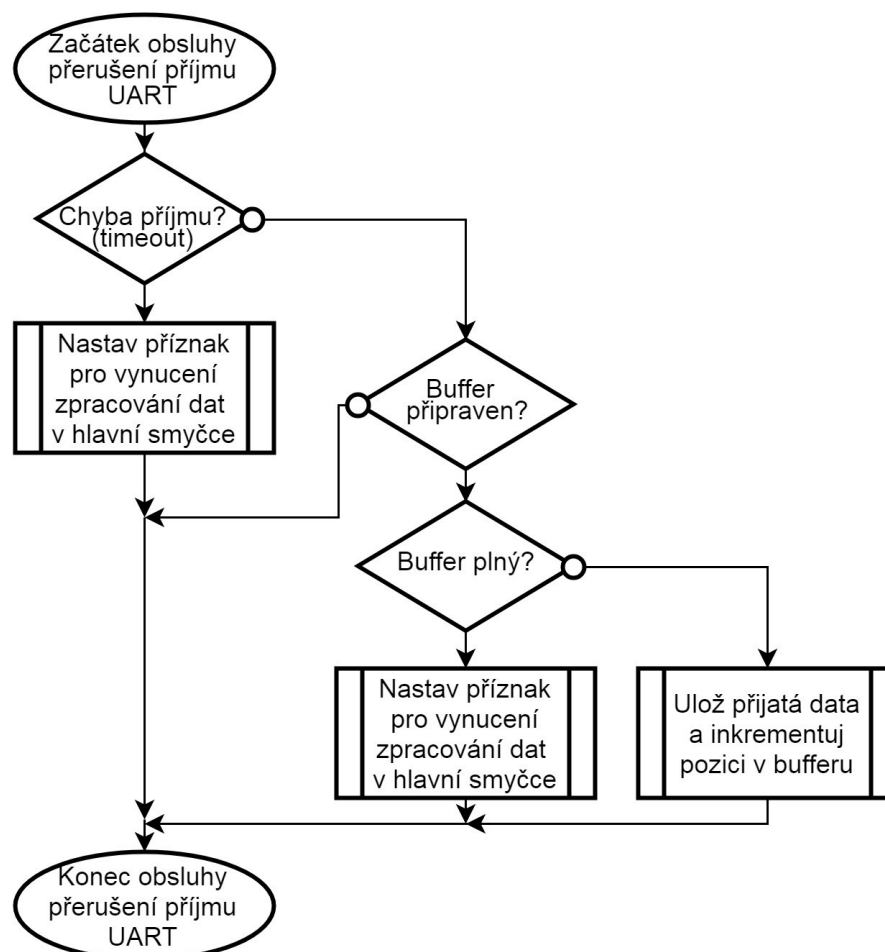
Hlavní smyčka v zásadě sestává ze tří částí. První z nich je kontrola, zda byla přijata data a je potřeba je zpracovat. Jejich příjem má na starost asynchronní přerušení jednotky UART. V druhé části hlavní smyčky je řešen případný problém na sběrnici, respektive zda mají být naposledy odeslaná data poslána znovu. Třetí část má na starost měření teploty, přičemž pokyn k provedení měření je vydán z časovače tak, aby bylo zajištěno měření teploty v pravidelných intervalech.



Obrázek 16 – Hlavní blok programu s nekonečnou smyčkou

Přerušení pro příjem dat ze sběrnice RS485 je jednotkou UART vyvoláno po kompletním přijetí jednoho datového rámce včetně start-bitu a stop-bitu. V přerušení je zkontrolováno, zda byla data přijata správně nebo zda nevypršela stanovená doba přijetí dat. Pokud byl nějaký problém zjištěn, je nastaven příznak pro zpracování přijatých dat v hlavní smyčce, kde je posléze problém identifikován a je vyvolána příslušná akce.

Pokud jsou přijatá data v pořádku, je přistoupeno k jejich uložení do bufferu, pouze však za předpokladu, že je tento buffer připraven data přijmout. Jelikož jsou přijatá data v bufferu využívána v hlavní smyčce, není žádoucí v přerušení nahodile zapisovat data do bufferu, neboť to by vedlo k chybám při zpracování dat. Pokud buffer není používán mimo vyvolané přerušení, je zkontrolována jeho plnost tak, aby nedošlo k jeho přetečení. Na základě toho jsou poté vyvolány příslušné akce. Buď jsou data z plného bufferu zpracována, čímž dojde k jeho vyprázdnění, nebo dojde k uložení dat do bufferu a následné inkrementaci aktuální pozice posledního bajtu dat.



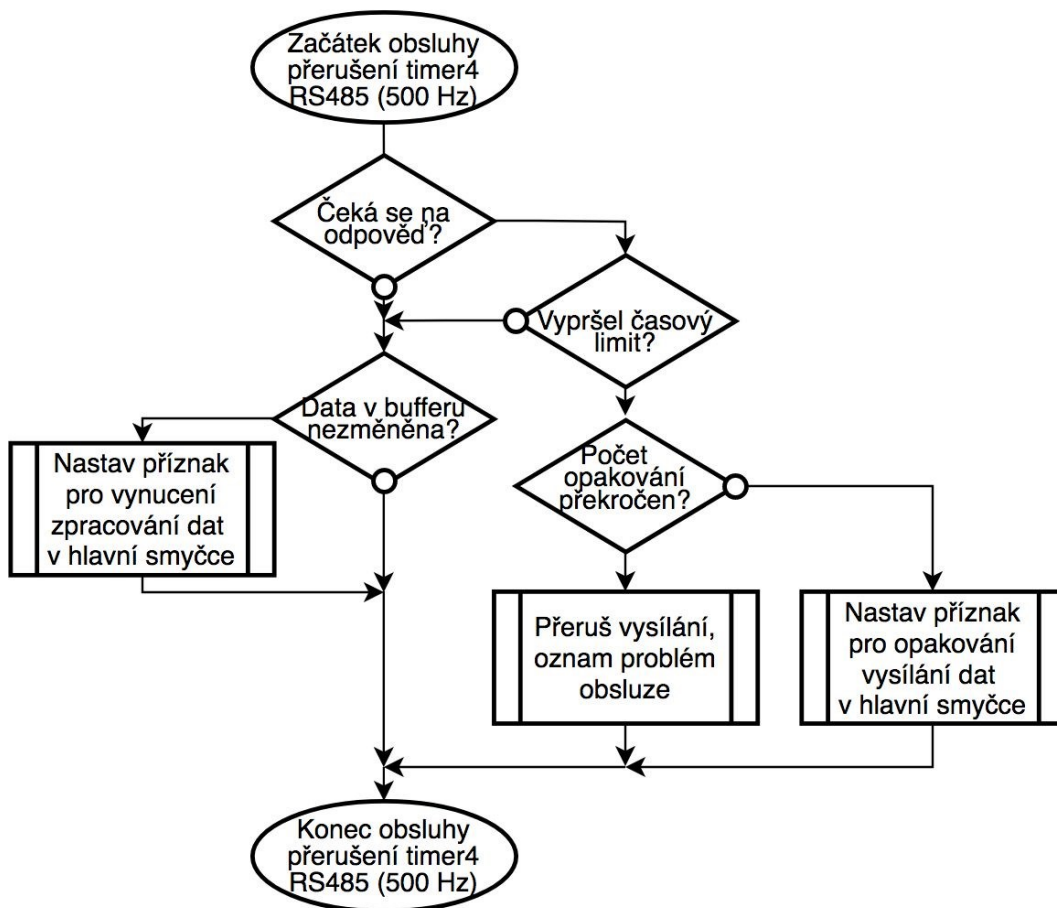
Obrázek 17 – Obsluha přerušení příjmu dat z jednotky UART

Aby docházelo k pravidelné kontrole stavu sběrnice RS485, bylo přistoupeno k použití časovače vyvolávajícího přerušení s periodou 2 ms, za sekundu je tedy toto přerušení voláno 500×.

Při vstupu do přerušení je zkontrolováno, zda se po vyslání dat čeká na odpověď z protějšího zařízení. Pokud žádaná odpověď nepřijde ve stanoveném limitu, dojde buďto k opakování vysílání, nebo nahlášení chyby obsluze⁸ v případě překročení počtu opakování vysílání. Maximálně je možné odeslat totožná data třikrát.

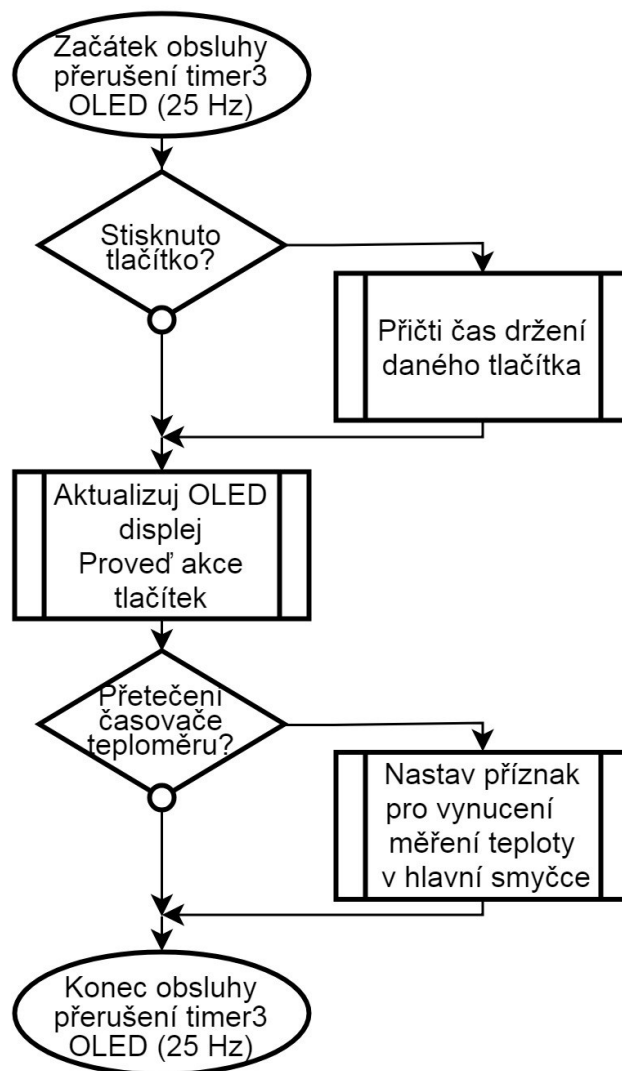
Pokud odpověď není očekávána, zkontroluje se změna dat v přijímacím bufferu, tedy zda nepřišla nová data, která je potřeba následně v hlavní smyčce zpracovat.

⁸ Pouze pokud je aktivní diagnostický či vývojový režim



Obrázek 18 – Obsluha přerušení čítače pro správu rozhraní RS485

Obnovování OLED displeje je zajištěno cyklickým přerušením vyvolaným z čítače číslo 3, přičemž je toto přerušení voláno s frekvencí 25 Hz. Toho přerušení má zároveň za úkol i periodickou kontrolu stavu tlačítek, vyhodnocuje délku stisku, na základě čehož je poté provedena příslušná akce dle aktuální používané obrazovky. Posledním úkolem tohoto přerušení je periodické nastavování příznaku pro čtení teplotního čidla. Samotné měření, respektive komunikace s čidlem, je však časově náročná a zároveň není kritickou funkcí, proto je prováděna v hlavní smyčce programu, která je vykonávána zejména v době nejnižšího vytížení mikrokontroléru.



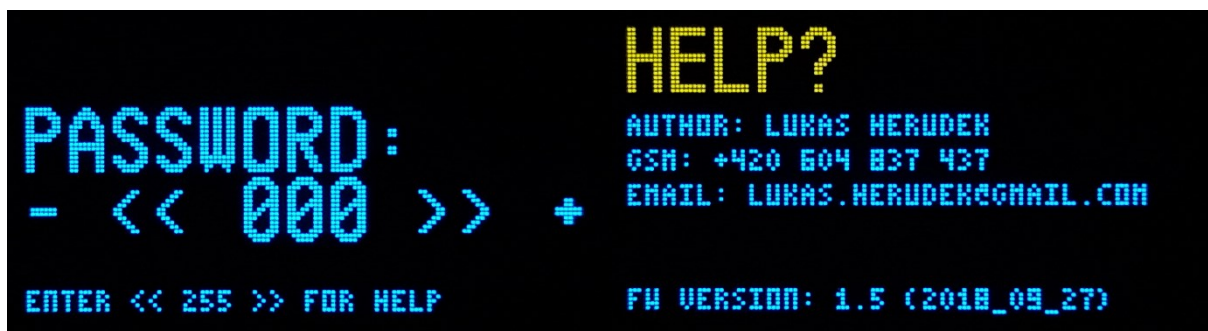
Obrázek 19 – Obsluha přerušení čítače pro obnovování displeje

Po zapnutí je postup inicializace periférií zobrazen indikátorem průběhu. Po dokončení je poté zobrazena hlavní obrazovka, která je přizpůsobena dle konkrétní periférie – buďto zobrazuje stav jednotlivých relé, nebo vstupních optočlenů, přičemž jednotlivé prvky jsou reprezentovány ikonami. Rozmístění ikon koresponduje s fyzickým umístěním vstupů či výstupů, stejně tak jsou i pro větší přehlednost shodně očíslovány. Vedle ikon je zobrazeno i rozmístění vývodů rozpojovací svorkovnice pro připojení napájení a sběrnice RS485. V horní části je poté vždy vypsána nastavená sběrniceová adresa zařízení společně s ukazatelem vytížení mikrokontroléru a aktuální teplotou uvnitř krabíčky.



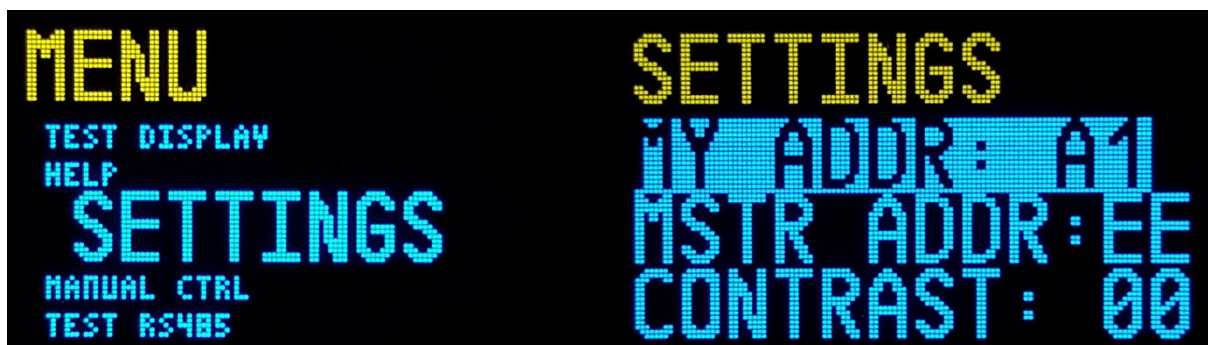
Obrázek 20 – Úvodní a hlavní obrazovka výstupní periferie

Přidržení prostředního tlačítka vyvolá obrazovku, která uživatele vyzve k zadání hesla v podobě čísla z rozsahu 0 až 255. Tento kód nepředstavuje zvlášť silné zabezpečení, nicméně zabrání nechtěnému přechodu do hlavního menu, například při zavedení o tlačítka. Zadání čísla 255 pak přenese uživatele k obrazovce se základními informacemi o zařízení včetně kontaktů na výrobce periferie pro případné získání pomoci. Tato obrazovka je rovněž přístupná skrze hlavní nabídku.



Obrázek 21 – Obrazovka pro zadání přístupového kódu a informační obrazovka

Hlavní menu sestává z šesti položek, přičemž první nabídnutou je nastavení. Tato obrazovka umožňuje obsluhu nastavit základní parametry dané periferie – vlastní sběrníkovou adresu, adresu hlavní řídicí desky a jas displeje. Všechny parametry jsou při opuštění obrazovky uloženy do paměti EEPROM a zůstanou tak uloženy i v případě výpadku napájení.



Obrázek 22 – Ukázka hlavního menu a obrazovky s nastavením

Další položka hlavního menu vykreslí obrazovku umožňující testování komunikace skrze sběrnici RS485. Zde je možné nejen pasivně sledovat aktuální stav sběrnice, ale rovněž je obsluze umožněno otestovat⁹ komunikační spojení s hlavní řídicí deskou. V případě problémů s komunikací po sběrnici je tak možné provést diagnostiku samotnými periferiemi, což může řešení vzniklých problémů výrazně zjednodušit a urychlit.



Obrázek 23 – Ukázka obrazovky pro testování sběrnice RS485

Poslední položkou hlavní nabídky, která je společná napříč periferiemi, je možnost testu obrazovky. Stisk krajních tlačítek přepíná mezi jednotlivými testovacími obrazci, díky kterým je možné vyhodnotit případné chyby displeje či viditelné stárnutí samotného OLED panelu. V případě výskytu problému je možné díky použitému konektoru displej jednoduše vyměnit za nový kus.

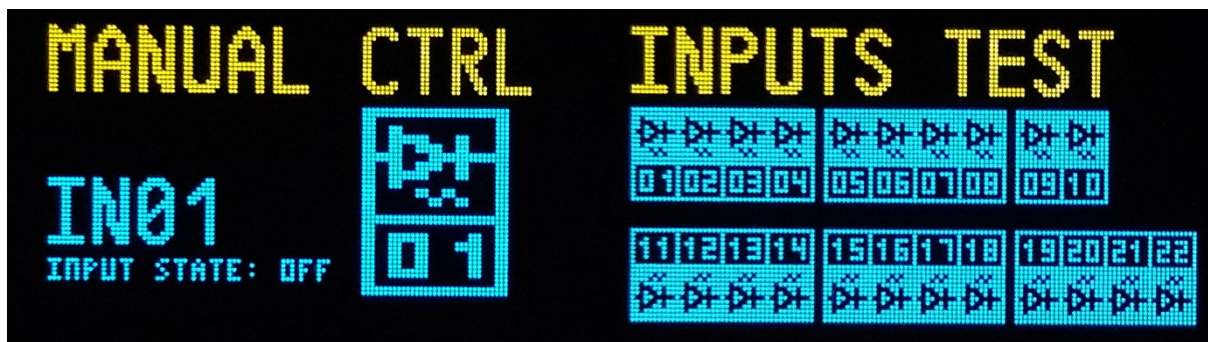


Obrázek 24 – Obrazovky při testu displeje

4.2.1 Odlišnosti programu vstupní periferie

Skrze hlavní menu je možné vyvolat obrazovku pro testování jednotlivých vstupů mikrokontroléru. Ten v tomto případě přepne své vstupy na výstupy, zároveň však snímá skutečnou logickou hodnotu na daném vstupu. Postupně pak vyzkouší každý jednotlivý vstup při obou logických hodnotách a informaci o případném nesouhlasném stavu předá skrze displej obsluze. Tímto způsobem je možné snadno odhalit případné problémy se vstupy. Pokud by například došlo ke zkratu nějakého pinu s nulovým potenciálem, tato skutečnost bude sdělena obsluze, která může buďto přepojit daný vstup na jiný nebo případně vyměnit celou periferii. Vstupy je možno testovat buďto individuálně, nebo všechny najednou.

⁹ V počítačových sítích se tato funkce obvykle označuje jako *ping*



Obrázek 25 – Obrazovky v režimu testování vstupů

4.2.2 Odlišnosti programu výstupní periferie

Obdobně jako u vstupní periferie je i v případě výstupní periferie možné individuálně ovládat stav jednotlivých výstupů a kontrolovat tak jejich funkci. Zobrazovaná logická hodnota výstupu však odpovídá jeho skutečné hodnotě, nikoli hodnotě nastavené. V případě zkratu je tak obdobně jako u vstupní periferie možné jednoduše odhalit příčinu problému.



Obrázek 26 – Obrazovky v režimu testování výstupů

Nejen při spuštěném automatickém testování, ale ani při přijetí příkazu pro sepnutí či rozepnutí všech relé nedojde k jejich akci současně. Z důvodu omezení proudových rázů způsobujících výkyvy napájecího napětí jsou jednotlivá relé spínána či rozpínána postupně s prodlevou 25 ms.

Program výstupní periferie umožňuje nejen trvalé sepnutí či rozepnutí relé, ale také sepnutí po přesně¹⁰ stanovenou dobu. Tato funkce je výhodná zejména v případech potřeby přesného časování, například při ostření analogové promítačky, kdy se délka sepnutí kontaktů relé pohybuje řádově ve stovkách milisekund. Takto přesného časování nelze pomocí běžné sběrnice komunikace dosáhnout.

4.3 Softwarové vybavení senzorické periferie

Konstruovaná senzorická periferie postrádá OLED displej, neboť nebylo předpokládáno umístění této periferie do společného rozvaděče, ale do prostoru nad promítacími stroji, kde je výhodnější dané veličiny monitorovat. Výhodou absence displeje je uvolnění značného výpočetního času mikrokontroléru, který tak může tento čas věnovat obsluze příslušných senzorů. Nevýhodou je

¹⁰ Rozlišení časování je 10 ms

nemožnost zobrazení naměřených hodnot přímo na periférii, stejně tak není možné jednoduchým zásahem ze strany uživatele změnit adresu senzorické periférie.

Základ programového vybavení tvoří jednotné knihovny pro ovládání jednotky UART, respektive pro celkovou obsluhu připojené sběrnice RS485 s definovaným protokolem. K těmto programovým knihovnám byly přidány další, které vytváří rozhraní pro komunikaci s připojenými senzory.

Obsluha senzorů, respektive měření daných veličin prostředím, je vykonávána v hlavní nekonečné smyčce programu. Pokyn pro měření je cyklicky generován skrze časovač pro kontrolu stavu sběrnice RS485. Jedná se tedy o dobu měření teploty u vstupní či výstupní periférie. Rozdílem je kromě většího počtu senzorů i jiná perioda měření. Měření na jednotlivých senzorech probíhá postupně se vzájemným odstupem jedné sekundy. Daná veličina je tak měřena každé čtyři sekundy. I přesto, že výrobci některých senzorů takto vysoký počet opakování nedoporučují z důvodu vlastního zahřívání senzoru, pro účel promítací kabiny je podstatná spíše perioda měření oproti jeho přesnosti.

4.4 Softwarové vybavení hlavní řídicí desky

Program hlavní řídicí jednotky sestává z mnoha částí a kvůli své rozsáhlosti (řádově desítky tisíc řádků programu) byl tedy rozdělen do jednotlivých knihoven příslušících daným perifériím mikrokontroléru, případně samotným připojeným zařízením distribuovaného řídicího systému. Základní kostru programu tvoří tyto celky: prvotní inicializace periférií, hlavní nekonečná smyčka, obsluha sběrnice RS485, vykreslování na displej, komunikace přes rozhraní Ethernet a správa ostatních připojených zařízení. Jednotlivé části programu jsou však do značné míry propojeny a vzájemně se doplňují.

Celý program byl od začátku vyvíjen s myšlenkou snadné rozšiřitelnosti, přidání nových zařízení do programu mikrokontroléru, respektive do samotného distribuovaného řídicího systému, tak nepředstavuje zvlášť složitý problém. Po implementaci příslušných knihoven stačí pouze za pomoci šablony vytvořit novou grafickou obrazovku, přičemž jednotlivým grafickým ovládacím prvkům jsou poté přiřazeny požadované funkce. Stejným způsobem je možné pokračovat v případě rozšíření aplikačního rozhraní pro vzdálené ovládání, kdy po definování nového zařízení a jeho možných příkazů stačí pouze tyto příkazy spojit s knihovními funkcemi daného zařízení.

4.4.1 Inicializace periférií

Po provedení resetu je postupně provedena inicializace jednotlivých periférií. Nejprve je nastaven pracovní kmitočet mikrokontroléru na 180 MHz¹¹, přičemž se jedná o nejvyšší výrobcem doporučený takt. Ten byl zvolen z důvodu značné výkonové náročnosti při tvorbě a zpracování grafiky displeje. Dále je inicializován grafický ovladač LTDC a rozhraní pro komunikaci s externí pamětí typu SDRAM, která je použita pro vytváření grafiky před zasláním do samotného řadiče použitého grafického displeje, neboť ten nedisponuje vlastní pamětí pro grafická data.

Dále jsou inicializovány vstupně-výstupní piny obsluhující některé méně náročné periférie, například dvě indikační LED, tlačítka nebo piezoakustický měnič. V této části programu jsou rovněž konfigurovány pomocné piny rozhraní pro komunikaci s kapacitní dotykovou vrstvou displeje (pin pro reset a pin vyvolávající přerušování při detekci prstu).

¹¹ Odpovídá 225 DMIPS (dle Dhrystone 2.1), tedy 1.25 DMIPS / MHz

Před prvotní konfigurací čipu ethernetového rozhraní a čipu pro správu sběrnice RS485 se čeká po dobu jejich interní inicializace. Po uplynutí této doby se přistoupí k inicializaci rozhraní SPI a nastavení parametrů ethernetového rozhraní (IP adresa, maska sítě, adresa brány a MAC adresa). Stejně tak je inicializováno rozhraní UART pro komunikaci s převodníkem obsluhujícím sběrnici RS485.

Před inicializací celého grafického rozhraní je ještě využit interní časovač mikrokontroléru pro vytváření PWM signálu, který má za úkol regulovat intenzitu LED panelu pro podsvícení displeje. Maximální střída signálu je omezena na 50 %, neboť použitý napěťový měnič s výstupem konstantního proudu je schopen dodat až dvojnásobný proud, než jaký je výrobcem panelu podsvícení doporučen k zajištění deklarované životnosti. Programově tak byla 50% střída přepočtena na 100% intenzitu.

Samotná inicializace grafické části se skládá z mnoha částí. Základem je však inicializace použité knihovny μ GUI, na které navazuje povolení hardwarové akcelerace pro kreslení grafiky. Stejně tak proběhne i konfigurace grafického ovladače LTDC. Následně jsou vytvořeny jednotlivé obrazovky, kdy se ke všem grafickým prvkům daných obrazovek přiřazují jejich vlastnosti (velikost, barva, text) a zároveň i příslušné funkce – pokud jsou definovány. Po dokončení je následně vykreslena obrazovka s hlavním menu, signalizující dokončení inicializace periférií. Před vstupem do hlavní nekonečné smyčky je ještě načten čas z bateriově zálohovaného interního obvodu reálného času (RTC) mikrokontroléru, neboť aktuální datum a čas jsou rovněž součástí hlavní obrazovky.

4.4.2 Program hlavní nekonečné smyčky

V hlavní smyčce jsou vykonávány časově nekritické části programu. Příkladem je zpracování dat přijatých pomocí sběrnice RS485. Zároveň zde probíhá obsluha ethernetového rozhraní, respektive jeho serverové části. Vzdálené ovládání skrze aplikační rozhraní je tak zpracováváno právě v hlavní programové smyčce. Poslední částí hlavní smyčky je kontrola stavu tlačítek. Ty v současné době nemají pro uživatele žádnou přiřazenou činnost (nejsou na krabice vyvedeny), nicméně v diagnostickém režimu umožňují více funkcí, například krokování odesílání dat po sběrnici nebo nastavení limitů jasu panelu pro podsvícení. Stejně tak je skrze tlačítka možno zakázat vzdálené ovládání v případě napadení sítě.

Důležitým úkolem hlavní nekonečné smyčky je periodická kontrola stavu připojených zařízení. Neustále tak jsou kontrolovány vstupní i výstupní periferie, stejně tak jsou neustále aktualizovány veličiny naměřené senzorickými deskami. Samozřejmostí je možnost vyloučit z této periodické kontroly periferie, jejichž stav není potřeba neustále kontrolovat.

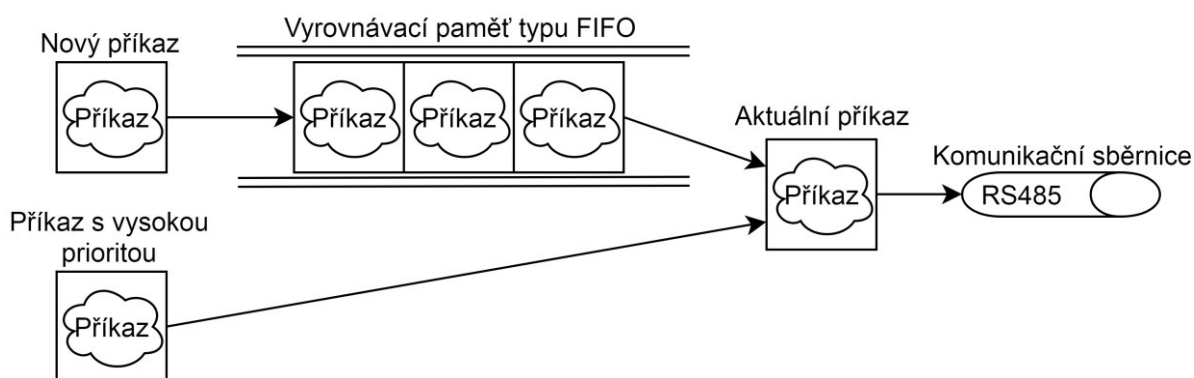
4.4.3 Obsluha sběrnice RS485

Základ tvoří společné knihovny, které však byly přizpůsobeny pro 32bitovou platformu, zejména tedy konfigurace a využití časovačů. Příjem samotných dat probíhá i nadále asynchronně. Stejně tak i kontrola stavu vysílání a přijímání dat se kvůli detekci vypršení času pro odpověď protější strany nachází v obsluze přerušení vyhrazeného časovače, přičemž toto přerušení je stejně jako u periferních zařízení voláno 500× za sekundu. Vzhledem k podstatně kratší periodě hlavní smyčky byla kontrola změny obsahu bufferu přesunuta z vyhrazeného časovače do hlavní smyčky, neboť se v zásadě jedná o časově nekritickou funkci (u periferních zařízení probíhá kontrola 25× za sekundu).

Vzhledem k charakteru postavení hlavní řídicí jednotky v rámci sběrnice RS485 (*master*) se předpokládá více požadavků ke komunikaci s periferními zařízeními současně nebo s pouze velmi malými časovými rozestupy. Z hlediska zajištění funkčnosti není výhodné řešit odesílání příkazů po sběrnici skrze jednotlivé funkce tak, jako tomu je u periferních jednotek, neboť by na sběrnici často

docházelo ke kolizím – jedna část programu hlavní řídicí jednotky čeká na přijetí dat, zatímco druhá část programu by začala okamžitě vysílat. U periferních jednotek takováto situace nemůže z principu nastat, v případě hlavní řídicí jednotky je potřeba takovýmto situacím zabránit.

Příkazy k odeslání jsou jednotlivými funkcemi vkládány do vyrovnávací paměti typu FIFO. Tím je zaručena prioritizace jednotlivých příkazů – dříve vložený příkaz bude odeslán dříve. Pokud však nastane neočekávaná chyba, kdy například protějščí zařízení neodpovídá, je posledně vyslaný příkaz opakován tak, jak je tomu i v případě periferních zařízení sběrnice. Pokud nastane případ, kdy je přijat příkaz vyžadující data, není možné tato data zařadit až na konec vyrovnávací paměti, neboť by na sběrnici došlo k chybovému stavu – periferie žádající o data z hlavní řídicí jednotky by opakovala vysílání a i přes korektní přijetí dat by jí nebylo vyhověno. Proto byly zavedeny příkazy s vysokou prioritou, které pozastaví odesílání dat z vyrovnávací paměti FIFO a jsou odeslány přednostně – prakticky okamžitě po přijetí požadavku k jejich odeslání.



Obrázek 27 – Princip zapojení vyrovnávací paměti při odesílání příkazů

Správa vyrovnávací paměti, tedy jak vkládání, vyčítání nebo i pozastavení vysílání, je řešena v hlavní nekonečné smyčce programu, neboť se nejedná o časově kritickou část programu – často je tomu právě naopak, neboť v případě výskytu chyb je výhodné počkat na uklidnění situace na sběrnici.

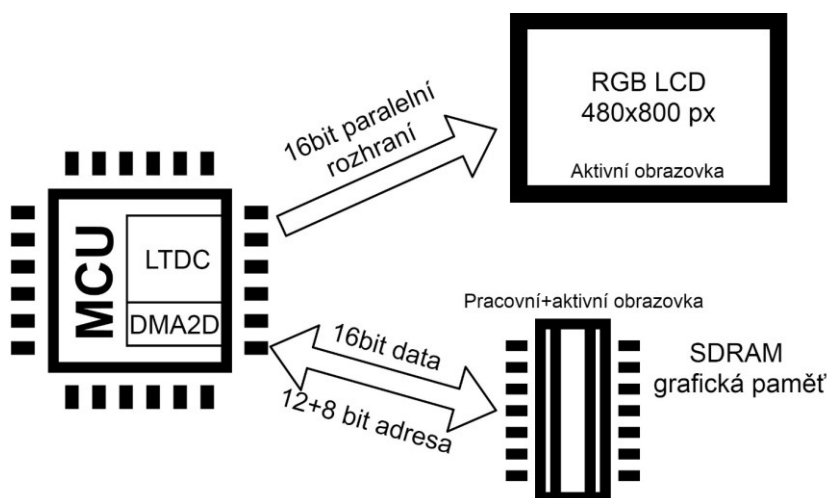
4.4.4 Obsluha grafického displeje

Pro vykreslování grafiky na displej se využívá vestavěného grafického ovladače LTDC, který umožňuje zasílání dat z paměti přímo na displej bez zásahu hlavního výpočetního jádra mikrokontroléru. Tím není jádro zbytečně periodicky na dlouhou dobu blokováno a zároveň je možné vykreslovat grafiku častěji a plynuleji. Vytváření grafiky probíhá v externí paměti, která je virtuálně rozdělena na dvě části reprezentující dvě obrazovky. Data jedné obrazovky jsou pomocí LTDC neustále zasílána displeji k vykreslení, přičemž druhá obrazovka slouží k tvorbě nové grafiky pro displej. Jakmile je grafika nové obrazovky kompletní, je vydán pokyn k přepnutí pracovní oblasti LTDC, který následně automaticky začne displeji zasílat data s novou grafikou z druhé části. Pro tvorbu grafiky je následně využita původně aktivní obrazovka z první části. Tento proces přepínání pracovních a aktivních obrazovek se poté neustále opakuje. Pokud by byla k tvorbě grafiky využívána pouze jedna paměťová oblast, docházelo by ke kolizím mezi tvorbou a vyčítáním grafiky, neboť by v jednu chvíli vyvstávaly požadavky jak na zápis, tak i na čtení dané oblasti. To by se projevilo trhaným zobrazováním grafiky na displeji a jeho nepříjemným problikáváním¹².

¹² Toto chování bylo pozorováno při vývoji grafické knihovny na demonstrátoru (viz kapitola 3.1.1)

Základ knihovny grafických funkcí tvoří knihovna μGUI ¹³. Tato značně univerzální knihovna poskytuje nejen základní grafické prvky (tlačítka, textové popisky, barvy, ...), ale i pokročilejší funkce, mezi které patří například i správa grafických oken. Tato okna zastřešují do nich vložené grafické prvky, přičemž jednotlivá okna jdou nezávisle na sobě zvětšovat či zmenšovat, stejně tak je možné jednotlivá okna přesouvat po ploše displeje nebo dokonce i překreslovat přes sebe.

Jelikož je většina grafického rozhraní tvořena velkými souvisle vyplněnými plochami, samotné vykreslování takovýchto grafických prvků probíhá nezanedbatelně dlouhou dobu, která kazí celkový uživatelský dojem. Proto bylo přistoupeno k využití dostupné hardwarové akcelerace označované výrobcem mikrokontroléru jako *Chrom-Art Accelerator DMA2D*. Tento modul umožňuje rychlý přesun dat mezi paměťmi s možností provádět například konverzi pixelů, přepočty, stmívání nebo i prolínání grafických prvků.



Obrázek 28 – Schéma principu funkce grafického vykreslování

4.4.5 Komunikace pomocí rozhraní Ethernet

Samotná komunikace využívající rozhraní Ethernet se silně opírá o značné schopnosti použitého čipu W5500. Ten po provedení prvotní konfigurace obstarává základní síťovou činnost bez nutnosti účasti řídicího mikrokontroléru.

V rámci sítě se hlavní řídicí jednotka chová jako server i jako klient. Klient zajišťuje komunikaci s digitálním projektorem, zatímco server zpracovává požadavky při vzdáleném přístupu s pomocí aplikačního rozhraní. Jak klient, tak i server podporuje nejen často používanou metodu GET, ale i méně využívanou metodu POST. Obě dotazovací metody přinášejí své výhody a nevýhody, při vytváření knihovny ethernetové komunikace se tak jeví jako výhodné implementovat obě metody.

Komunikace ve formě klienta je vždy vyvolána na základě požadavku obsluhy distribuovaného systému, a to buďto skrze dotykový displej, nebo skrze vzdálené ovládání, přičemž cílovým zařízením příslušných příkazů je vždy digitální projektor. Samotné příkazy pro projektor jsou vytvářeny v knihovně Barco, která je však úzce navázána na knihovnu W5500 zajišťující komunikaci s čipem ethernetového rozhraní.

¹³ Zdroj: [17][18]

Zvláštní situací může být případ, kdy není známa konkrétní IP adresa cílového zařízení. Takováto situace může nastat zejména v případě sítí s automatickým přidělováním adres. Jelikož je pro připojení na digitální projektor, případně i jiné zařízení, potřeba znát jeho adresu, byla do hlavní řídicí jednotky přidána možnost tuto adresu zjistit za pomoci doménového jména. Ke zjištění adresy je využito serveru doménových jmen (DNS server), jehož IP adresa je pevně daná. Tento server zaslané doménové jméno rozpozná a dotazateli zpět vrátí adresu hledaného zařízení. Pro komunikaci s DNS serverem bylo potřeba implementovat protokol UDP.

Příchozí požadavky na server tvořený hlavní řídicí deskou distribuovaného systému jsou zpracovávány v hlavní nekonečné smyčce programu. Řádná obsluha vytvořeného serveru by mohla být výhodněji řešena za pomoci periodických přerušení dostupných časovačů. Nicméně z důvodu značné časové náročnosti při zpracování některých serverových požadavků by v takovém případě mohla nastat situace hlubokého zanoření jednotlivých přerušení, což by mohlo vést k celkovému zpomalení systému včetně vytvoření nepředvídatelných prodlev u časově kritických funkcí. Proto byl zvolen způsob zpracování požadavků na vytvořený server právě v hlavní smyčce, kde delší čas zpracovávání přijatých dat nepředstavuje zásadní problém.

4.4.6 Správa ostatních periferních zařízení

Aby byla práce programátora s jednotlivými připojenými zařízeními distribuovaného systému pokud možno co nejvíce zjednodušena a zpřehledněna, došlo k vytvoření struktur a funkcí příslušících jednotlivým typům zařízení. Ty po vytvoření globálních proměnných umožňují ze strany programátora snadnou práci s danými zařízeními. V podstatě jsou programově vytvořeny jakási virtuální zařízení, jejichž vlastnosti odpovídají skutečným kusům. Stavby virtuálních zařízení jsou následně programově zrcadleny na reálná zařízení, čímž odpadá starost programátora o složité ovládání reálných zařízení.

Výhoda těchto virtuálních zařízení rovněž spočívá v rychlejší odezvě na přijaté dotazy ohledně stavu daného zařízení při vzdáleném ovládání distribuovaného systému, neboť při přijetí příkazu prostřednictvím rozhraní Ethernet není potřeba řešit komunikaci přes sběrnici RS485, která je mnohonásobně pomalejší. Odpadá tak značná prodleva serveru při vyřizování požadavků jednotlivých klientů, kterých je následně možno serverem obsloužit podstatně více ve stejném čase. Příkladem může být dotaz tabletu s implementovaným aplikačním rozhraním na aktuální teplotu v promítací kabině. Při běžné funkci by tento požadavek znamenal vytvoření příkazu pro zaslání po sběrnici RS485, který by byl následně zpracován sensorickou deskou. Ta by následně provedla měření. Díky vytvoření virtuální sensorické desky je klientovi zaslána poslední naměřená teplota, která byla zjištěna v rámci periodické kontroly stavu připojených zařízení. Tímto dojde k urychlení vyřízení požadavku o desítky až stovky milisekund, což při hromadném dotazu na stav více zařízení znamená úsporu času v řádu sekund. Obsluha tabletu tak nemusí zdlouhavě čekat na vyřízení požadavků, neboť ty jsou vyřízeny v mnohonásobně kratším čase.

Problém může nastat v případě potřeby zjištění skutečně aktuálního stavu zařízení, takzvané v reálném čase. Aplikační rozhraní v tomto případě umožňuje vytvoření takových příkazů, které na straně serveru přímo vedou k vynucení komunikace s dotazovaným reálným zařízením připojeným přes sběrnici RS485. Informace o skutečně aktuálním stavu daného zařízení je poté předána žádající straně.

5 Návrh a implementace vizualizace systému

Jelikož je interakce uživatele s distribuovaným systémem možná více různými způsoby¹⁴, je potřeba vytvořit jednotné grafické uživatelské rozhraní v jednotném stylu. To umožní kromě snazšího zaškolení obsluhy i následné jednodušší ovládání, které může v konečném důsledku vést i k méně lidským chybám při přepínání mezi jednotlivými způsoby ovládání.

Grafický návrh uživatelského rozhraní je značně problematická záležitost, neboť je možné jej vytvořit různými způsoby v různých stylech, přičemž pocitové vnímání výsledného návrhu je velmi individuální a rozhodně nelze vyhovět každému. Základem však vždy musí být praktičnost takového návrhu odvíjející se nejen z potřeby snadné obsluhy, ale i z technických možností (například rozlišení a rozměr displeje).

V případě této práce byl velký důraz kladen na reálné umístění dotykového displeje hlavní řídicí desky. Jelikož je v průběhu promítání v kabině velmi nízká intenzita osvětlení, není vhodné stylizovat grafický návrh do světlých barev, neboť by docházelo k častému a nepříjemnému oslnění obsluhy. Základ použitého návrhu tak tvoří tmavě šedé pozadí, na kterém jsou následně umístěna obdélníková tlačítka a jiné ovládací prvky šedé barvy s bílým textem. Aktivní prvky, textové popisky a jiné grafické prvky jsou stylizovány modro-zelenou (tyrkysovou) barvou.

Základním ovládacím prvkem distribuovaného řídicího systému je dotykový displej, který je spojen s hlavní řídicí jednotkou. Ovládání skrze displej poskytuje veškeré možnosti pro správu jednotlivých periférií a díky přímému připojení na sběrnici představuje nejspolehlivější způsob ovládání. V případě výskytu chyby na sběrnici RS485 či u komunikace přes rozhraní Ethernet je sice možné skrze displej určité chyby odhalit pomocí zabudované diagnostiky, v případě rozsáhlejších problémů je však výhodné použít k tomu přímo určený nástroj. Tím je v tomto případě diagnostický program pro operační systémy Windows, který je schopen oba způsoby komunikace lépe prověřit a tím dopomoci k odhalení a následnému řešení případných problémů. Pro vzdálené ovládání distribuovaného řídicího systému přes Ethernet bylo vytvořeno univerzální aplikační rozhraní využívající formát JSON, díky kterému je distribuovaný systém možno ovládat napříč zařízeními i různými platformami. Navíc je takto vytvořené rozhraní snadno rozšiřitelné o nové příkazy či celá zařízení.

5.1 Přímé ovládání pomocí dotykového displeje

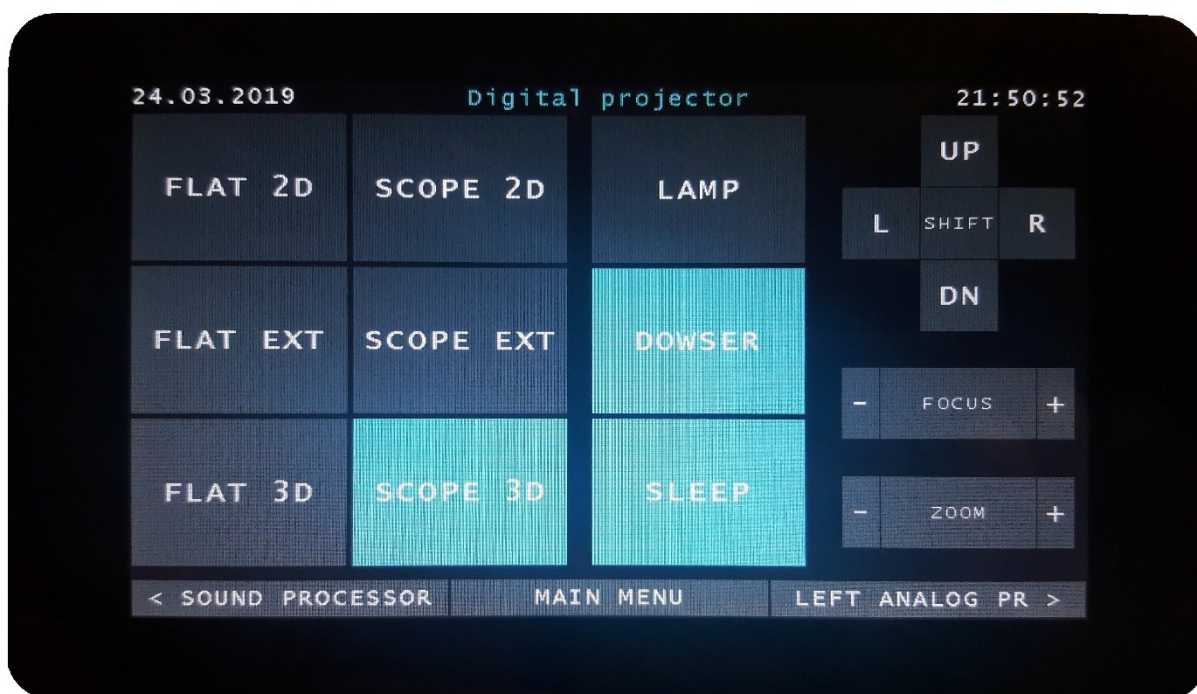
Vytvořené grafické uživatelské rozhraní bylo potřeba přizpůsobit použitému displeji. Displej hlavní řídicí jednotky je provozován v režimu s pouze 16bitovou barevnou hloubkou, proto bylo potřeba upravit číselné hodnoty zvolených barev z běžné 24bitové barevné palety tak, aby se jejich reálné zobrazování na konkrétním LCD pokud možno co nejvíce přiblížilo zamýšlené barvě.

Základ tvoří hlavní menu, které se skládá ze šesti velkých tlačítek, přičemž prvních pět slouží pro přechod k obrazovkám jednotlivých zařízení (projektor, zvukový procesor, ...), případně funkčních prvků (osvětlení, vykrývání, ...). Poslední tlačítko umožňuje přechod do nastavení zařízení. Skrze nastavení je možné spustit i diagnostický režim, ve kterém je možné sledovat pohyb dat jak po sběrnici RS485, tak i přes rozhraní Ethernet. Rovněž je možné pomocí této obrazovky prověřit funkčnost spojení s konkrétními sběrniceovými perifériemi.

¹⁴ Typicky integrovaný dotykový displej řídicí jednotky oproti ovládání pomocí tabletu s řídicí aplikací.

Obrazovky pro jednotlivá zařízení jsou založena na stejném stylu, rozměry tlačítek a jejich rozmístění je ale individuální podle typu zařízení, případně jejich funkce. Příkladem může být obrazovka, přes kterou je ovládán digitální projektor. K volbě formátu slouží šest tlačítek umístěných v levé části. Z podstaty funkce může být aktivní pouze jedno z nich. Středová část displeje obsahuje tři tlačítka, každé z nich ovládá samostatné funkce. Například pokud je projektor uspán, tlačítko „SLEEP“ je zvýrazněno. Pravá část obrazovky poté patří prvkům sloužícím k práci s objektivem. Příkladem individuálního rozložení a tvaru tlačítek jsou tlačítka pro posun objektivu. Ta jsou umístěna do kříže, který dává obsluze jasně najevo, kterým směrem bude objektiv posunut.

Horní část displeje patří stavovému řádku – ten kromě aktuálního data a času zobrazuje název aktivní obrazovky, respektive název ovládaného zařízení. Spodní část slouží k rychlému přepínání mezi jednotlivými obrazovkami s ovládanými zařízeními. Centrální tlačítko ve spodní části umožňuje rychlý přechod do hlavního menu, tedy na hlavní obrazovku se šesti základními tlačítky pro výběr ovládaného přístroje.



Obrázek 29 – Ukázka grafické podoby uživatelského rozhraní hlavní řídicí desky

Přestože hardware kapacitní dotykové vrstvy umožňuje detekci více doteků současně, firmware ani samotná vizualizace této funkce nevyužívají, neboť v průběhu testování docházelo poměrně často k nechtěným dotykům při snaze obsluhy o opření ruky o okraj displeje.

5.2 Diagnostický nástroj

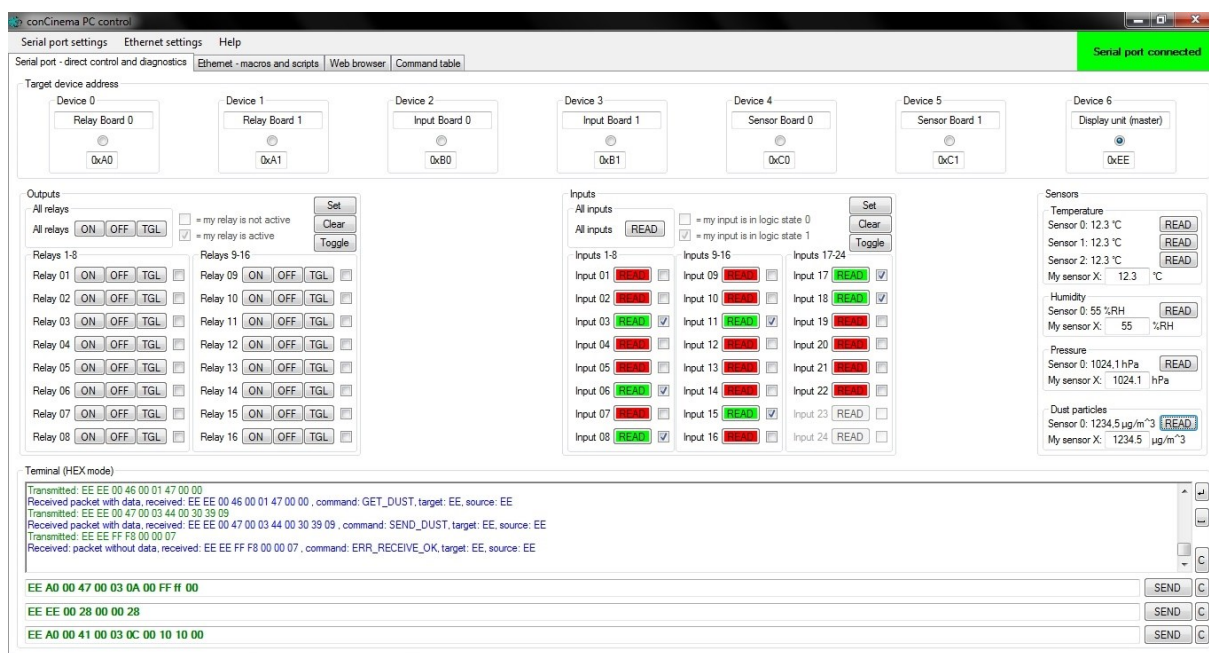
Pro nasazení do reálného provozu je výhodné mít k dispozici nástroj umožňující rychlou a efektivní diagnostiku případných problémů. Za tímto účelem byl vytvořen program pro operační systém Windows napsaný v jazyce C#. Program umožňuje připojení jak pomocí sériového portu, tak i pomocí rozhraní Ethernet. Díky tomu je možné diagnostikovat nejen hlavní komunikační sběrnici RS485, ale i síťové rozhraní, které je na správnou konfiguraci náročnější.

5.2.1 Diagnostika s využitím komunikační sběrnice RS485

Připojení počítače ke sběrnici předpokládá použití převodníku RS485↔USB, který se operačnímu systému jeví jako standardní sériový port COM. Program je možné použít jak pro pasivní monitoring sběrnice, tak i pro aktivní zásah do komunikace. Při tvorbě programu se ukázalo jako výhodné implementovat používaný protokol z hlediska obou základních typů zařízení, program se tedy může tvářit jako *master* (hlavní řídicí jednotka) nebo jako *slave* (periferní zařízení). Při problému například s výstupní periferií je tak možné zkusit periférii ovládat manuálně přímo pomocí počítače. Při práci se vstupní periferií je naopak možné nastavit program do režimu této vstupní periferie a simulovat tak skrze počítač například stisk tlačítek. Stejně tak je možné pomocí programu vyčítat měřené hodnoty ze senzorů, zároveň je možné programem takovéto senzory simulovat.

Kromě předem připravených tlačítek s pevně danou funkcí jsou k dispozici i tři oddělené řádky pro manuální zápis příkazů v šestnáctkové soustavě (HEX). Díky tomu je možné otestovat nejen funkce vstupních, výstupních nebo senzorických periferií, ale i dalších. Rovněž je možné testovat reakce příslušných sběrnicových zařízení na různé příkazy, zejména ty chybové.

Horní část obrazovky aplikace umožňuje rychlé přepínání mezi adresami jednotlivých zařízení, se kterými je potřeba komunikovat. Ve spodní části je poté zobrazován historický průběh komunikace, případně zjištěné problémy, které jsou i barevně odlišeny.



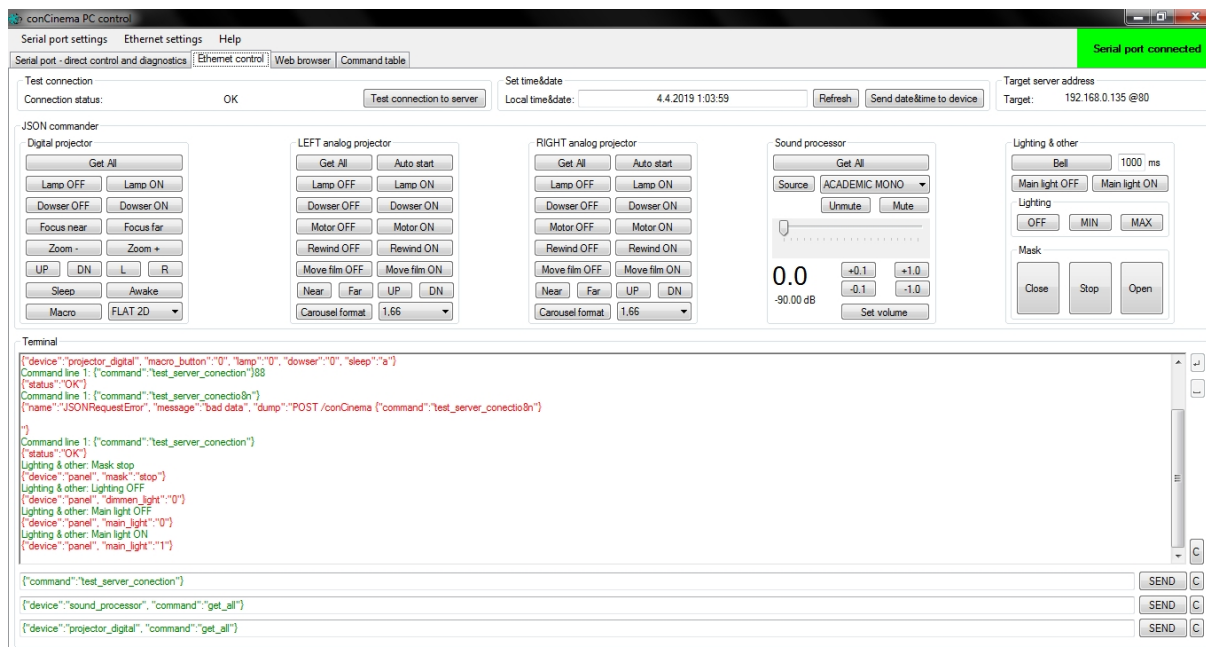
Obrázek 30 – Ukázka diagnostického programu pro komunikaci přes sběrnici RS485

5.2.2 Diagnostika s využitím rozhraní Ethernet

Ovládání zařízení pomocí ethernetového rozhraní se do velké míry podobá ovládání přes sběrnici RS485. Výběr zařízení se zde však provádí pouze jednou, neboť se vždy komunikuje s hlavní řídicí deskou, která přijaté příkazy zpracuje a dále sama rozešle na daná zařízení.

Středové části obrazovky dominuje pět sloupců jednotlivých momentálně používaných zařízení – digitální projektor, levá a pravá analogová promítačka, zvukový procesor a osvětlení. Tlačítka, která se zde nacházejí, funkčně odpovídají tlačítkům dotykové obrazovky hlavní řídicí desky. Jejich stisk v diagnostickém programu se tak vizuálně projeví i přímo na dotykovém displeji.

Spodní části při komunikaci přes Ethernet a sériovou linku jsou podobné. Nacházejí se zde tři řádky pro zaslání uživatelem zadaných specifických příkazů, historický průběh komunikace je zobrazován nad nimi. Příkazy je nutné zadávat ve formátu JSON, přičemž jejich přesnou podobu je možné zjistit v seznamu podporovaných příkazů použitého aplikačního rozhraní.



Obrázek 31 – Ukázka diagnostické aplikace pro komunikaci pomocí rozhraní Ethernet

5.3 Aplikační rozhraní pro vzdálené ovládání

Vzhledem k připojení hlavní řídicí jednotky do místní sítě pomocí rozhraní Ethernet se ukázalo jako velmi výhodné umožnit vzdálené ovládání distribuovaného řídicího systému. Typickým příkladem využití vzdáleného ovládání je potřeba úpravy hlasitosti projekce přímo ze sálu, neboť promítací kabina je odhlučněna a nastavení optimální hlasitosti pro diváky je tak z kabiny velmi obtížné.

Aby se předešlo problémům se vzájemnou kompatibilitou ovládacích zařízení vzniklou roztržštěnou koncepcí vzdáleného ovládání, bylo přistoupeno k vytvoření jednotného aplikačního rozhraní. Toto rozhraní pak udává přesný styl a strukturu příkazů pro vzdálené ovládání. Z důvodu jednoduchosti implementace a zároveň kompatibility napříč různými platformami byl pro aplikační rozhraní zvolen datový formát JSON. Tento způsob zápisu dat umožňuje požadovaná data přehledně uspořádat, čímž je nejen usnadněn zápis, ale posléze i zpracování takto formátovaných dat.

Hlavní řídicí jednotka se v místní síti chová jako server a čeká na připojení klientů, respektive na jejich příkazy. Příkazy je na hlavní řídicí jednotku nutno zasílat metodou POST, přičemž odpovědi serveru zpět klientovi jsou příslušná požadovaná data nebo pouze potvrzení o správném přijetí, případně chybová hláška s informacemi o důvodu vzniku chyby.

5.3.1 Struktura příkazů aplikačního rozhraní

Před samotným příkazem je nutno zaslat hlavičku, která serveru sděluje bližší informace o přijatých datech. Zde se nachází například zvolená dotazovací metoda POST nebo specifikace obsahu – v tomto případě tedy JSON. Důležitou informací hlavičky je délka zasílaných dat, neboť ta serveru sděluje, kolik bajtů má očekávat. Pokud udávaná délka neodpovídá skutečně přijatému množství dat, server odpoví

chybou o neshodně udávané délce dat oproti skutečnosti. Za hlavičkou jsou již následně zaslána data specifikující příkaz, který má server vykonat.

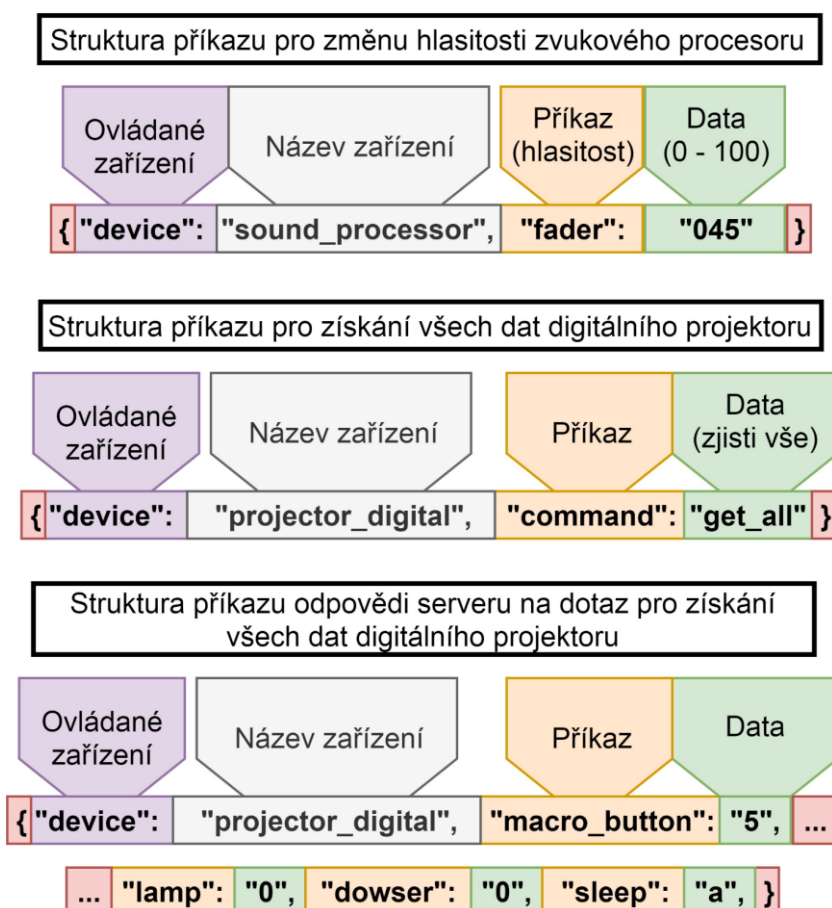
```
POST /conCinema HTTP/1.1
Content-Length: 51
Host: 192.168.0.135
Content-Type: application/json

{"device":"projector_digital", "command":"get_all"}
```

Obrázek 32 – Ukázka struktury zasláního příkazu metodou POST

Data je nutno uzavřít do složených závorek, tím je jasně definována jejich délka. První částí dat je určení konečného zařízení, na které je následný příkaz směřován. Tím jsou jasně vyhrazeny dostupné příkazy pro dané zařízení, neboť například nemá význam zasílat příkaz k zapnutí lampy zvukovému procesoru, jelikož ten jistě odpoví chybou a celá komunikace by tak byla zbytečná.

Tabulka vybraných příkazů pro jednotlivá zařízení je součástí přílohy – Příloha č. 19.



Obrázek 33 – Ukázka struktury příkazů vytvořeného aplikačního rozhraní

Důležitou vlastností aplikačního rozhraní je jeho univerzálnost, která navazuje na univerzálnost celého distribuovaného řídicího systému. Díky předem jasnému formátování je v případě připojení nového zařízení k distribuovanému systému velmi jednoduché rozšířit aplikační rozhraní i o toto nové

zařízení. Stejně tak lze za pomoci aplikačního rozhraní jednoduše vytvářet v rámci distribuovaného systému skupiny zařízení, která jsou svou podstatou naprosto odlišná, ale přesto je jejich činnost nějakým způsobem svázána. Příkladem mohou být světla v sále a digitální projektor, přičemž aplikační rozhraní umožňuje (skrže vytvoření skupiny) provést jedním příkazem ztlumení světel a zároveň otevření clony projektoru. Tím u diváků v sále dojde k menšímu zrakovému namáhání, tedy příjemnějšímu přechodu ze světla do tmy, případně i naopak.

6 Demontrace funkce

Aby mohl být systém vyzkoušen jako celek a byla tak demonstrována jeho funkce, bylo přistoupeno k vytvoření demonstračního panelu. Souběžně byly části systému vyzkoušeny a testovány přímo v promítací kabině městského kina Orion v Hradci nad Moravicí.

6.1 Demonstrační panel

Před skutečným nasazením vyvinutého systému do reálného prostředí byla potřeba vyzkoušet a demonstrovat jeho funkci. Pro tyto účely byl zvolen panel z dřevotřísky pokryté bílým laminátem o celkových rozměrech 40 × 80 cm. Na tento panel byly poté umístěny mechanické podpůrné prvky, například DIN lišty, poté již byl osazen jednotlivými moduly distribuovaného řídicího systému, které byly následně propojeny kabeláží.

6.1.1 Základní zapojení pro ukázkou a testování funkce jednotlivých periférií

Pro účely testování a ukázky funkce vstupních a výstupních periférií byl vytvořen demonstrátor pro osazení na zkušebním panelu. Jedná se o zapojení základních komponent, se kterými je možné se běžně setkat.

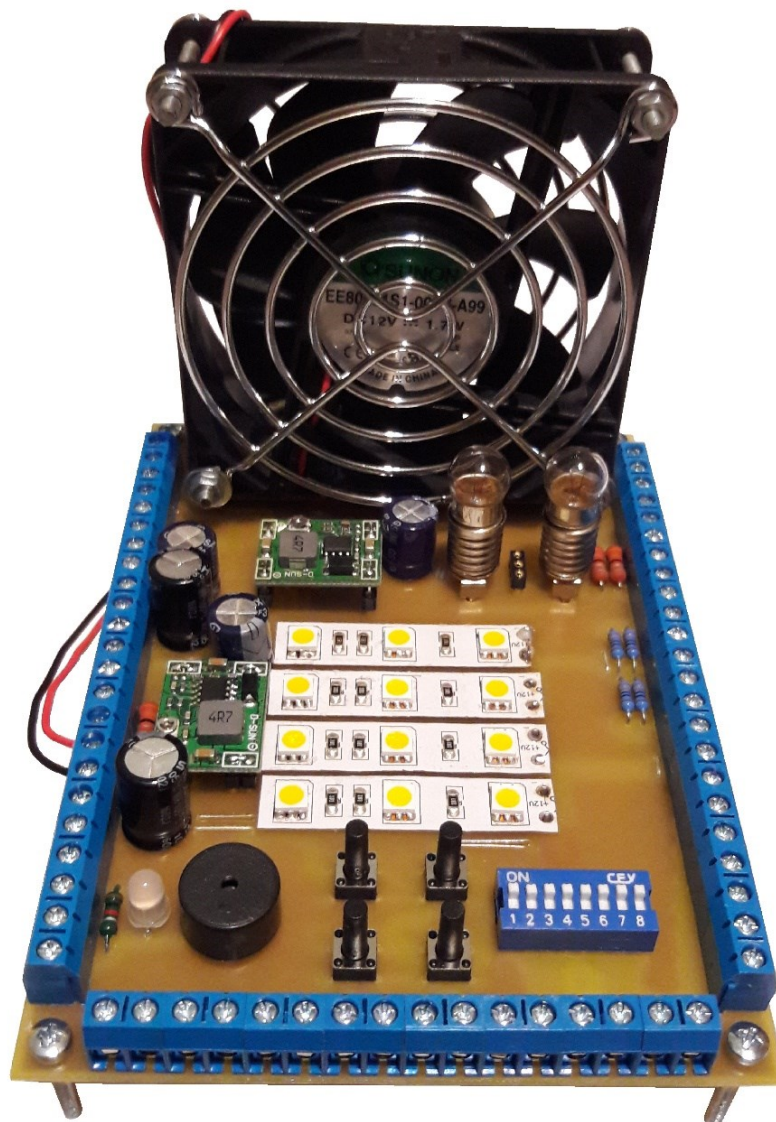
Tento demonstrační přípravek obsahuje: 4 LED pásky, dvoubarevnou LED, piezoakustický měnič, 4 tlačítka, 8 DIP spínačů a kromě DC/DC měničů také termostatický blok. Ten je založen na měření teploty za pomoci běžného digitálního čidla DS18B20 umístěného mezi dvěma žárovkami simulujícími vytápění. Pro urychlení ochlazovací fáze je na přípravku umístěn ventilátor, který je namířen ve směru teplotního čidla.

Tlačítka jsou zapojena tak, že do vstupních periférií přivádějí napětí +24 V. Naproti tomu DIP spínače jsou určeny pro spojení vstupních svorek, detekční napětí je tedy přivedeno ze vstupní periférie. Tímto je možné testovat oba módy vstupních obvodů. Detekce síťového napětí 230 V tímto přípravkem není z bezpečnostních důvodů testována.

Vstupní napájení +24 V přípravku je chráněno proti přepólování a maximální odebíraný proud je limitován vratnou pojistkou na 500 mA.

Dále přípravek obsahuje dedikovaný DC/DC měnič z +24 V na +12 V, který slouží pro napájení routeru/switchu umístěného na panelu.

Rovněž se zde nachází výstup napájení +24 V a příslušné svorkovnice pro připojení relé umožňujících změnu polaritu motoru simulujícího ostření objektivů u analogových promítaček. Výstup je chráněn diodami a transilem proti napěťovým špičkám. Vratná pojistka zařazená do obvodu limituje maximální proud motoru na 300 mA.

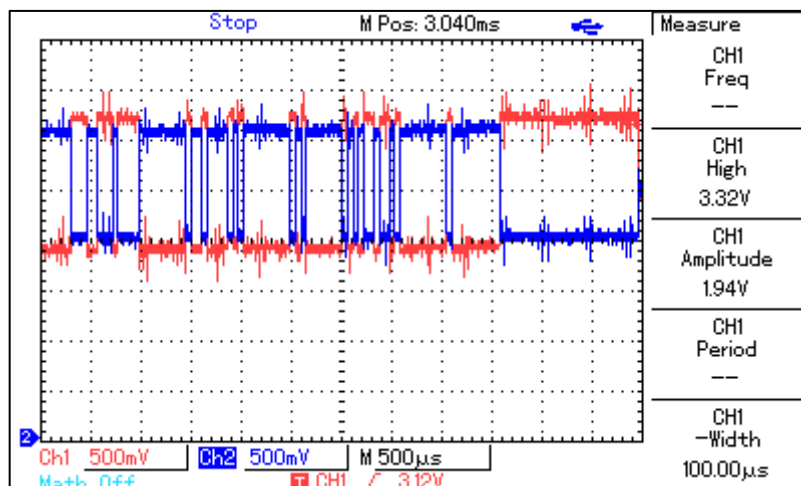


Obrázek 34 – Demonstrační přípravek pro ukázkou funkce jednotlivých periférií

6.1.2 Konstrukce demonstračního panelu

Na panel byly nejprve nainstalovány DIN lišty a další podpůrné mechanické díly, například kabelové příchytky, které zaručují úhledné vedení propojovací kabeláže.

Před závěrečným osazením panelu byla vyzkoušena funkčnost jednotlivých komponent, hlavně tedy jejich vzájemné pospojování. Nejprve byly jednotlivé prvky vyzkoušeny samostatně s připojením k hlavní ovládací desce s dotykovým displejem, později došlo k zapojení více prvků současně tak, aby došlo k ověření stability sběrnice, respektive datové komunikace. Jelikož se ani po připojení více prvků na sběrnici neobjevily žádné problémy s komunikací, došlo k osazení panelu jednotlivými perifériemi a k jejich propojení s demonstračním přípravkem. Byť by obsluhu tohoto demonstračního přípravku zvládly pouze dvě periférie (jedna vstupní a jedna výstupní), bylo použito více kusů periférií tak, aby byla vyzkoušena činnost více totožných periférií připojených na sběrnici.



Obrázek 36 – Ukázka části průběhu na komunikační sběrnici RS485

Dalším poznatkem je zahřívání interiéru krabíčky u výstupních periférií v případě, že je sepnut velký počet relé. Byť má každé jednotlivé relé příkon pouze 360 mW, vzhledem k uzavřenému prostředí nemá takto produkované teplo kudy unikat, v důsledku čehož dochází k zahřívání vnitřního prostoru krabíčky. Ohřev však není kritický, trvalé sepnutí všech relé způsobí oteplení interiéru krabíčky o přibližně 20 °C nad teplotu okolí.

6.2 Testování v městském kině Orion

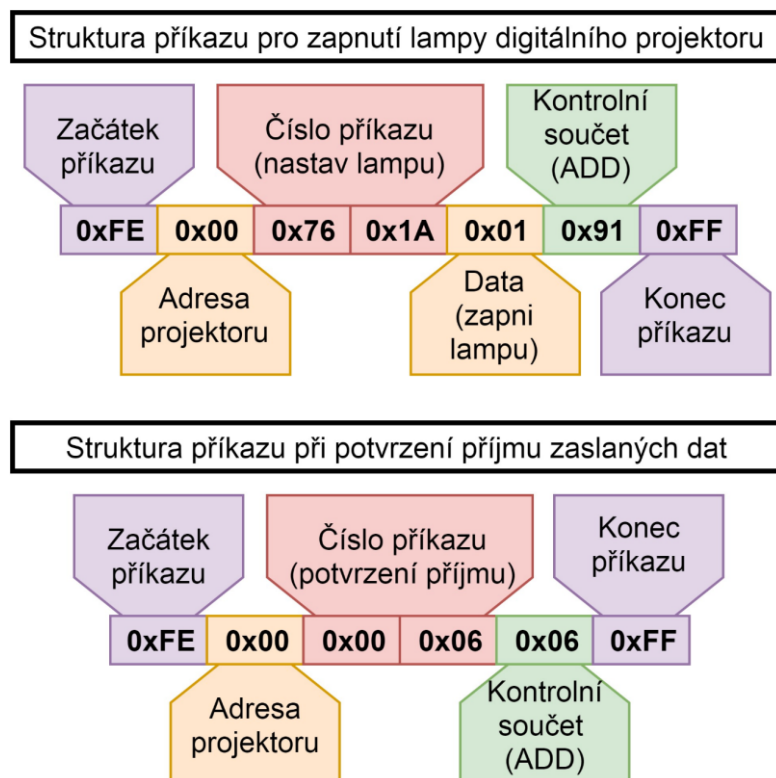
V průběhu vývoje a následného testování distribuovaného řídicího systému byla několikrát navštívena promítací kabina městského kina Orion v Hradci nad Moravicí, přičemž došlo k vyzkoušení komunikace hlavní řídicí desky se dvěma zařízeními – digitálním projektorem Barco DP2K-10S a zvukovým procesorem CP650 od firmy Dolby.

6.2.1 Testování komunikace s digitálním projektorem

Digitální projektor se v rámci sítě chová jako server, přičemž na spojení naslouchá na portu 43728. Po připojení klienta a přijetí příkazu je směrem ke klientovi vysláno nejprve potvrzení o přijetí a až poté případná odpověď projektoru na přijatý příkaz.

Zkouška ovládání digitálního projektoru proběhla na základě implementace protokolu Barco do hlavní řídicí desky. Protokol pro komunikaci přes ethernetové rozhraní s podporou TCP/IP vychází z protokolu pro komunikaci přes sériovou linku. Jsou zde proto zavedena určitá omezení v podobě nahrazení některých bajtů uvnitř datového rámce, neboť tyto bajty jsou vyhrazeny pro jednoznačné určení začátku a konce vysílaných dat.

Struktura komunikačního protokolu je následující: start bajt (0xFE), adresa projektoru (0x00), příkazové bajty, datové bajty, jednobajtový kontrolní součet (adresa + příkazové bajty + datové bajty) a stop bajt (0xFF).[9]



Obrázek 37 – Ukázka struktury komunikace pomocí protokolu Barco

V rámci testování byly úspěšně vyzkoušeny základní příkazy, například pro zapnutí či vypnutí lampy, čímž byla demonstrována funkčnost komunikace mezi hlavní řídicí deskou distribuovaného řídicího systému a digitálním projektořem pomocí rozhraní Ethernet s podporou TCP/IP.



Obrázek 38 – Ukázka z testování komunikace s digitálním projektořem

6.2.2 Testování komunikace se zvukovým procesorem

Pro vyzkoušení vzdáleného ovládání zvukového procesoru bylo využito rozhraní RS232. Zvukový procesor CP650 sice disponuje ethernetovým rozhraním, jeho řídicí software však nedovoluje více otevřených spojení současně, přičemž právě toto jedno spojení je trvale otevřeno a využíváno kino-serverem. Sériová linka RS232 rovněž bývá při dodržení předepsané kabeláže spolehlivější z hlediska stability spojení a je jednodušší na konfiguraci. Parametry spojení jsou následující: 9600 Bd, 8 datových bitů, 1 stop bit, bez parity a bez řídicích signálů. Samotná přenášená data odpovídají tabulce ASCII a nejsou nijak šifrována. Uživatel musí mít na paměti, že zde neexistuje způsob kontroly správnosti přijatých dat, stejně tak pokud je přijatá hodnota mimo rozsah, zvukový procesor neodpovídá žádnou chybovou hláškou a přijatý příkaz ignoruje.

Tabulka 1 – Tabulka příkazů pro komunikaci se zvukovým procesorem [16]

Provedená operace	Zasílaný příkaz	Odpověď z CP650
Nastaví hlasitost na 6,5	fader = 65\r\n	(žádná)
Vypne ztlumení	mute = 0\r\n	(žádná)
Aktivuje formát tlačítka 10	format_button = 3\r\n	(žádná)
Zjistí aktuální hodnoty	query all\r\n	fader = 65\r\n mute = 0\r\n format_button = 3\r\n user_formats = 13, 64, 60\r\n projector = 1\r\n preset_fader_level = -1, -1, -1, 65, 68, -1, -1, 75\r\n

Funkčnost komunikace hlavní řídicí desky se zvukovým procesorem prostřednictvím sběrnice RS232 byla demonstrována opakovaným zasíláním dostupných příkazů, přičemž připojený zvukový procesor na vysílané příkazy odpovídajícím způsobem reagoval.

Závěr

Předmětem této bakalářské práce byl návrh distribuovaného řídicího systému. Postup řešení probíhal dle jednotlivých bodů zadání, kdy byly nejprve zjištěny požadavky na takovýto systém, poté byla provedena rešerše ostatních řešení a jejich nedostatků. Následně již bylo přistoupeno k návrhu vlastního distribuovaného řídicího systému, což vytyčilo požadavky na hardware. Softwarové vybavení poté přineslo funkcionalitu a možnost testování navrženého systému. Dle získaných zkušeností a konkrétních požadavků obsluhy byla poté navržena a představena vizualizace na dotykovém grafickém displeji. Pro rozšíření možností systému bylo vytvořeno aplikační rozhraní přístupné pomocí rozhraní Ethernet, čímž bylo umožněno ovládat systém i pomocí programů a aplikací třetích stran. Toho využil kolega Lukáš Tatarin, jenž vytvořil ovládací aplikaci pro operační systém Android.

Při testování v reálném prostředí kina Orion v Hradci nad Moravicí vyvstala potřeba rychle a snadno diagnostikovat případné problémy systému, ať už na hlavní komunikační sběrnici RS485 nebo i při komunikaci přes rozhraní Ethernet. Bylo tak přistoupeno k vytvoření diagnostického programu pro operační systém Windows, který je navržen přímo pro tento účel a skrze něj je možné problémy efektivně odhalovat a řešit.

Plánovaným vylepšením systému je použití SD karty pro konfiguraci systému. Na paměťové kartě by tak mohly být uloženy sběrnice i síťové adresy jednotlivých zařízení distribuovaného systému, což by v případě jeho modifikace eliminovalo nutnost přeprogramování hlavní řídicí desky.

Pro další vylepšení systému se jako výhodné jeví osazení hlavní řídicí desky čtečkou otisků prstů nebo čtečkou RFID karet. To by umožnilo nejen zaznamenávat docházku jednotlivých pracovníků obsluhy systému, ale také by tento identifikační systém zajistil určitou bezpečnost proti ovládání systému nežádoucími osobami.

Za účelem ukázky funkčnosti celého distribuovaného řídicího systému byl vytvořen demonstrační panel, který byl osazen DIN lištami pro jednotlivá zařízení distribuovaného systému a ukázkovými zařízeními – například světly, spínači nebo i motorem pro ostření analogové promítačky. Jednotlivá zařízení je možné dle libosti ovládat skrze dotykový displej hlavní řídicí desky, stejně tak je možné použitá zařízení vzdáleně ovládat s využitím vytvořeného aplikačního rozhraní. Navržený a realizovaný distribuovaný řídicí systém tak prokázal svou funkčnost.

Literatura

- [1] 120W Single Output Industrial DIN RAIL EDR-120 series. *TME* [online]. 2014 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/9e304b8511517074c338d9a2c583eaba/EDR-120-SPEC.pdf>
- [2] 7InchDisplayDrawing. *RASPBERRY PI* [online]. 2013 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/display/7InchDisplayDrawing-14092015.pdf>
- [3] AN4861 Application note. *STMicroelectronics* [online]. 2017 [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/group0/25/ca/f9/b4/ae/fc/4e/1e/DM00287603/files/DM00287603.pdf/jcr:content/translations/en.DM00287603.pdf
- [4] Application Note for CTPM. *Newhaven Display* [online]. 2010 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: https://www.newhavendisplay.com/app_notes/FT5x06_registers.pdf
- [5] Application note of Sharp dust sensor GP2Y1010AU0F. *Sharp* [online]. 2012 [cit. 2018-08-10]. Dostupné z: http://www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au_appl_e.pdf
- [6] ATmega324PB datasheet. *Microchip* [online]. 2015 [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001908A.pdf>
- [7] ATmega328P datasheet. *Microchip* [online]. 2009 [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
- [8] BŮBAL, Jan, a další. 1987. *ABC pracovníků kin (4. přepracované vydání)*. Praha : Ústřední Půjčovna Filmů Praha, 1987. 791.6/153/ABC.
- [9] Communication Interface Barco DP Projectors. *Smart Story* [online]. 2012 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: http://smart-story.ru/files/products/multimedia/Projectors/Barco/DCP_Series_2/Docs/TDE4313-01-RS232CommandsforDPseries.pdf
- [10] COULOURIS, George, a další. 2012. *Distributed Systems, Concepts and Design. Fifth Edition*. Boston : Pearson Education Limited, 2012. ISBN 0-273-76059-9.
- [11] D9MG-ASSEMBLY. *TME* [online]. 2010 [cit. 2018-08-10]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/acba50ca0e3cca8bfa4e4fdd5eb5b0c2/D9MG.pdf>
- [12] DC/DC Converters TSR-1 Series, 1 A. *TME* [online]. 2012 [cit. 2018-06-22]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/8ede9b33d0d1c988330d6ae3f3b9c081/TSR1-EN.pdf>
- [13] DC-DC Constant Current Step-Down LED driver LDD-L series. *TME* [online]. 2013 [cit. 2018-06-25]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/cec489ede3013d07934905951131851e/LDD-L-spec.pdf>
- [14] DEM 1024600G TMH-PW-N (C-TOUCH) 7,0" TFT + PCT. *Display Elektronik* [online]. 2016 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: https://www.display-elektronik.de/filter/DEM1024600G_TMH-PW-N_C-TOUCH.pdf
- [15] DIN lišta 35x7,5mmx1m děrovaná. In: *Technik Kladno* [online]. 2011 [cit. 2019-01-12]. Dostupné z: http://technik-kladno.cz/index.php?main_page=popup_image&pID=1617

- [16] Dolby Model CP650 Digital Cinema Sound Processor Installation Manual. *Dolby* [online]. 2002 [cit. 2018-03-19]. Dostępne z: http://bee.mif.pg.gda.pl/ciasteczkowypotwor/SM_scena/CP650/CP650-4.pdf
- [17] DÖBLER, Achim. MGUI - Open Source GUI module for embedded systems. In: *GitHub* [online]. 2015 [cit. 2018-03-21]. Dostępne z: <https://github.com/achimdoebler/UGUI.git>
- [18] DÖBLER, Achim. MGUI. *Embedded Lightning* [online]. 2015 [cit. 2018-03-21]. Dostępne z: <http://embeddedlightning.com/ugui/>
- [19] Driver ioLibrary_BSD. *WIZwiki* [online]. 2014 [cit. 2018-05-17]. Dostępne z: [http://wizwiki.net/wiki/doku.php?id=products:w5500:driver&s\[\]=dns](http://wizwiki.net/wiki/doku.php?id=products:w5500:driver&s[]=dns)
- [20] Embedded graphics on STM32F4. *STMicroelectronics STM32F4 Series* [online]. 2013 [cit. 2018-05-05]. Dostępne z: http://www.compel.ru/wordpress/wp-content/uploads/2013/11/1_LTDC_ChromeART.pdf
- [21] FLEISCHMANN, Albert. 1994. *Distributed Systems, Software Design and Implementation*. Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1994. ISBN 3-540-57382-8.
- [22] FT5x26 True Multi-Touch Capacitive Touch Panel Controller. *Newhaven Display* [online]. 2014 [cit. 2018-03-01]. Dostępne z: <https://www.newhavendisplay.com/appnotes/datasheets/touchpanel/FT5x26.pdf>
- [23] GIRONI, Davide. AVR Atmega BMP085/BMP180 pressure sensor library 01. *Davide Gironi* [online]. 2012 [cit. 2018-09-02]. Dostępne z: <http://davidegironi.blogspot.com/2012/10/avr-atmega-bmp085-pressure-sensor.html#.XLZb2TAzZph>
- [24] GIRONI, Davide. AVR Atmega BMP085/BMP180 pressure sensor library 01 CODE. *Davide Gironi* [online]. 2012 [cit. 2018-09-02]. Dostępne z: <https://code.google.com/archive/p/davidegironi/downloads?page=3>
- [25] INNOLUX. SPECIFICATION - AT070TN90. *Adafruit* [online]. 2010 [cit. 2018-03-01]. Dostępne z: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/AT070TN90.pdf>
- [26] KWIECIEŃ, Radosław. LCD TFT Display Controller (LTDC). *En.radzio.dxp.pl* [online]. 2017 [cit. 2018-06-22]. Dostępne z: <http://en.radzio.dxp.pl/stm32f429idiscovery/tft-lcd-controller.html>
- [27] Libopenmc3-examples. *GitHub* [online]. 2015 [cit. 2018-06-17]. Dostępne z: <https://github.com/libopenmc3/libopenmc3-examples/tree/master/examples/stm32/f4/stm32f429i-discovery/lcd-dma>
- [28] Low power RS-485/RS-422 transceiver. *TME* [online]. 2006 [cit. 2018-03-02]. Dostępne z: <https://www.tme.eu/Document/ddbb95624a6413764ea7ea8d830f483f/ST485x.pdf>
- [29] MAJERLE, Tilen. HAL library 12- LCD for STM32Fxxx. *STM32F4 Discovery* [online]. 2015 [cit. 2018-06-19]. Dostępne z: <https://stm32f4-discovery.net/2015/07/hal-library-12-lcd-for-stm32fxxx/>
- [30] MAJERLE, Tilen. Library 02- STM32F429 Discovery GPIO tutorial with onboard leds and button. *STM32F4 Discovery* [online]. 2014 [cit. 2019-04-16]. Dostępne z: <http://stm32f4-discovery.net/2014/04/stm32f429-discovery-gpio-tutorial-with-onboard-leds-and-button/>
- [31] MAJERLE, Tilen. Library 04- USART for STM32F4. *STM32F4 Discovery* [online]. 2014 [cit. 2018-03-16]. Dostępne z: <http://stm32f4-discovery.net/2014/04/library-04-connect-stm32f429-discovery-to-computer-with-uart/>

- [32] MAJERLE, Tilen. Library 05- SPI for STM32F4. *STM32F4 Discovery* [online]. 2014 [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <http://stm32f4-discovery.net/2014/04/library-05-spi-for-stm32f4xx/>
- [33] MAJERLE, Tilen. Library 09- I2C for STM32F4. *STM32F4 Discovery* [online]. 2014 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <https://stm32f4-discovery.net/2014/05/library-09-i2c-for-stm32f4xx/>
- [34] MAJERLE, Tilen. Library 19- Use internal RTC on STM32F4. *STM32F4 Discovery* [online]. 2014 [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: <https://stm32f4-discovery.net/2014/07/library-19-use-internal-rtc-on-stm32f4xx-devices/>
- [35] MAJERLE, Tilen. Library 33- PWM for STM32F4. *STM32F4 Discovery* [online]. 2014 [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <https://stm32f4-discovery.net/2014/09/library-33-pwm-stm32f4xx/>
- [36] MAJERLE, Tilen. Library 51- Chrom-ART Accelerator (DMA2D) graphic library on STM32F429-Discovery. *STM32F4 Discovery* [online]. 2015 [cit. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://stm32f4-discovery.net/2015/01/library-51-chrom-art-accelerator-dma2d-graphic-library-on-stm32f429-discovery/>
- [37] MAJERLE, Tilen. STM32F4 PWM tutorial with TIMERS. *STM32F4 Discovery* [online]. 2014 [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <https://stm32f4-discovery.net/2014/05/stm32f4-stm32f429-discovery-pwm-tutorial/>
- [38] MATOUŠEK, David. 2007. *C pro mikrokontroléry ATMELE AT89S52*. Praha : BEN – technická literatura, 2007. ISBN 978-80-7300-215-2.
- [39] NHD-7.0-800480EF-ATXL#-CTP. *Newhaven Display* [online]. 2013 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://www.newhavendisplays.com/specs/NHD-7.0-800480EF-ATXL-CTP.pdf>
- [40] Photocoupler Product Data Sheet LTV-814. *TME* [online]. 2014 [cit. 2018-07-17]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/cddc5416cbcd80bc288c068da5f3c02a/LTV-814S.pdf>
- [41] Project 1 Primer: DNS Overview. *Fauster* [online]. 2009 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: [http://www.fausser.edu/~fuligni/files/class5/sistemi-reti/project1-primer%20\(DNS%20message%20structure\).pdf](http://www.fausser.edu/~fuligni/files/class5/sistemi-reti/project1-primer%20(DNS%20message%20structure).pdf)
- [42] ROUTLEY, James. Let's hand write DNS messages. *Routley* [online]. 2017 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://routley.io/tech/2017/12/28/hand-writing-dns-messages.html>
- [43] RS-232 vs. TTL Serial Communication. *SparkFun Electronics* [online]. 2010 [cit. 2018-10-25]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/tutorials/215>
- [44] SHT1x / SHT7x Humidity & Temperature Sensor. *Farnell* [online]. 2007 [cit. 2018-09-17]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/317085.pdf>
- [45] ŠKUTA, Jaromír. 2006. *Návrh distribuovaných řídicích systémů a jejich komunikační vazby: teze habilitační práce k habilitačnímu řízení v oboru Řízení strojů a procesů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 978-80-248-3968-4.
- [46] SLOSS, Andrew N., Dominic SYMES a Chris WRIGHT. 2004. *ARM system developer's guide: designing and optimizing system software*. Amsterdam : Elsevier Morgan Kaufmann, 2004. ISBN 1-55860-874-5.
- [47] STM32 Primer - UART Example. *Pandafruits* [online]. 2012 [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: http://pandafruits.com/stm32_primer/stm32_primer_uart.php
- [48] STM32F427xx - STM32F429xx datasheet. *STMicroelectronics* [online]. 2013 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/03/b4/b2/36/4c/72/49/29/DM00071990.pdf/files/DM00071990.pdf/jcr:content/translations/en.DM00071990.pdf>

- [49] TANENBAUM Andrew S. a Maarten Van STEEN. 2007. *Distributed systems. 2nd edition*. Upper Saddle River : Pearson Prentice Hall, 2007. ISBN 0-13-613553-6.
- [50] TPS6510x Triple Output LCD Supply With Linear Regulator and VCOM Buffer. *Texas Instruments* [online]. 2003 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps65100.pdf>
- [51] VÁŇA, Vladimír. 2009. *ARM pro začátečníky*. Praha : BEN – technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-246-6.
- [52] W5500 TCP Function. *WIZwiki* [online]. 2017 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://wizwiki.net/wiki/doku.php?id=products:w5500:application:tcp_function
- [53] W5500 UDP Function. *WIZwiki* [online]. 2017 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: http://wizwiki.net/wiki/doku.php?id=products:w5500:application:udp_function
- [54] W5500-Ref-RJ45WithMag. In: *WIZwiki* [online]. 2015 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://wizwiki.net/wiki/lib/exe/fetch.php?media=products:w5500:w5500_sch_v110_use_mag_.png

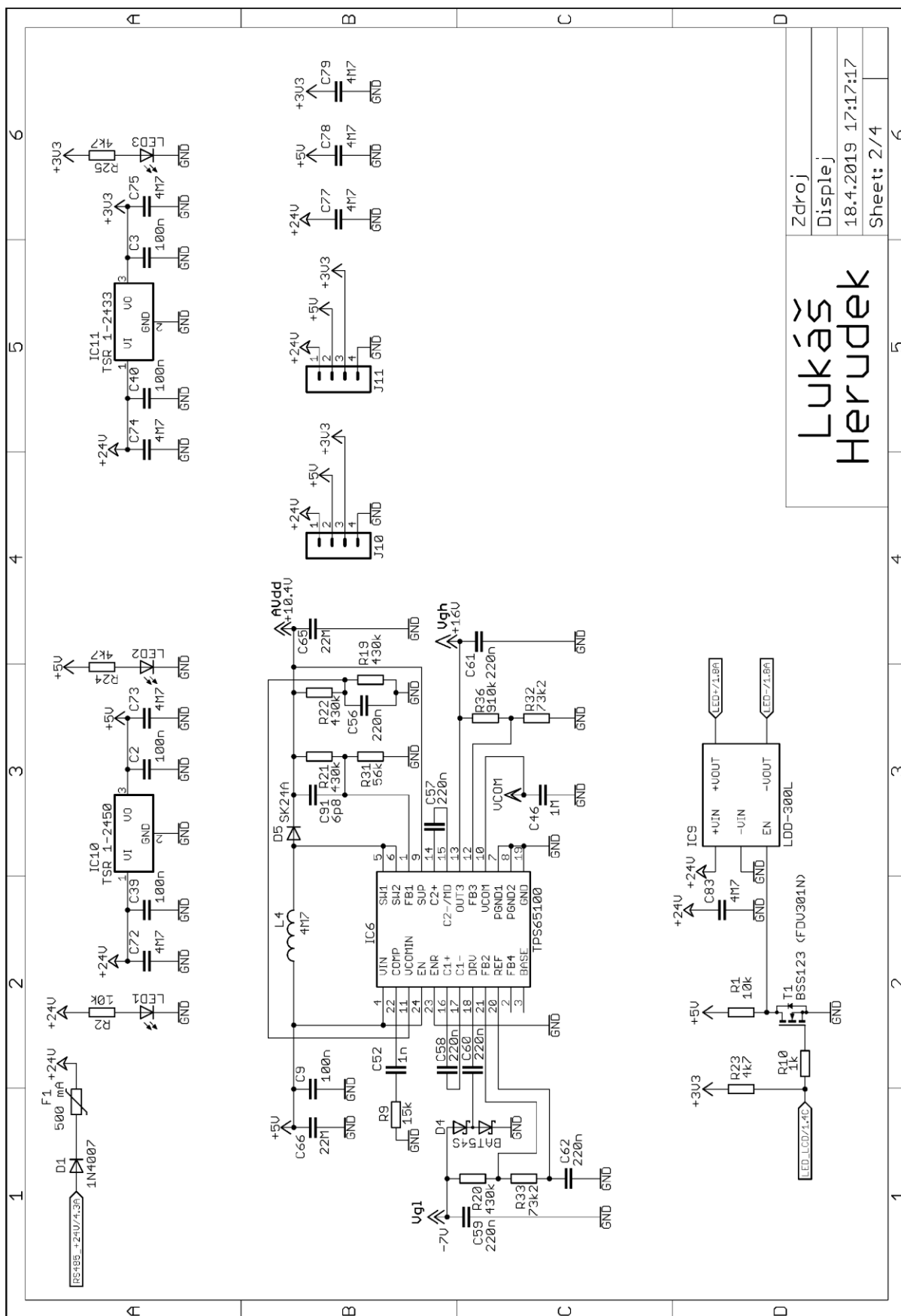
Seznam příloh

Některé níže uvedené přílohy byly optimalizovány pro tisk ve formátu A4. Přílohy v originální velikosti jsou dostupné na přiloženém CD/DVD.

Příloha č. 1	Schéma hlavní řídicí desky	I
Příloha č. 2	Schéma univerzální periferní desky	V
Příloha č. 3	Schéma vstupní periferie	VI
Příloha č. 4	Schéma výstupní periferie	VII
Příloha č. 5	Schéma senzorické periferie	VIII
Příloha č. 6	Deska plošných spojů hlavní řídicí desky	IX
Příloha č. 7	Deska plošných spojů univerzální periferní desky	XI
Příloha č. 8	Deska plošných spojů vstupní periferie	XII
Příloha č. 9	Deska plošných spojů výstupní periferie	XIII
Příloha č. 10	Deska plošných spojů senzorické periferie	XIV
Příloha č. 11	Fotografie hlavní řídicí desky s displejem	XV
Příloha č. 12	Fotografie krabičky pro hlavní řídicí desku	XVI
Příloha č. 13	Fotografie hlavní řídicí desky v krabičce	XVII
Příloha č. 14	Fotografie vstupní periferie v krabičce	XVIII
Příloha č. 15	Fotografie výstupní desky	XIX
Příloha č. 16	Fotografie výstupní desky v krabičce	XX
Příloha č. 17	Fotografie demonstračního panelu	XXI
Příloha č. 18	Tabulka vybraných příkazů sběrnice RS485	XXII
Příloha č. 19	Tabulka vybraných příkazů aplikačního rozhraní	XXIII
Příloha č. 20	Zdrojový kód hlavní řídicí desky	příloha na CD/DVD
Příloha č. 21	Zdrojové kódy periférií	příloha na CD/DVD
Příloha č. 22	Diagnostický program	příloha na CD/DVD

Příloha č. 1 Schéma hlavní řídicí desky

Příloha o formátu A4 (*Schéma hlavní řídicí desky, zapojení mikrokontroléru*) je vložena do kapsy desek. Zbylé části schématu hlavní řídicí desky jsou vloženy na následující tři strany.



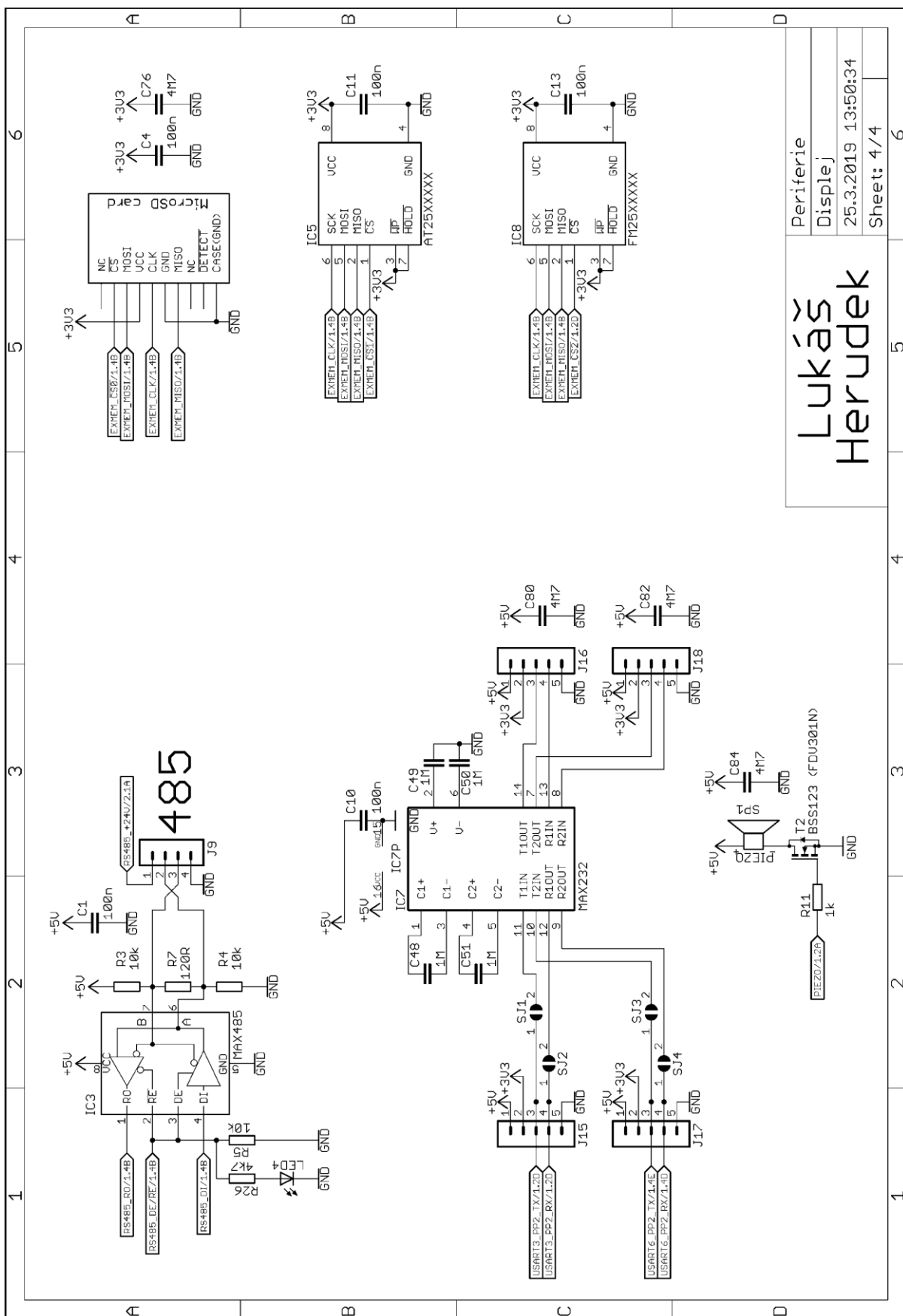


Schéma hlavní řídicí desky, periferie

Periferie
Displej
25.3.2019 13:50:34
Sheet: 4/4

Příloha č. 2 Schéma univerzální periferní desky

Příloha o formátu A4 je vložena do kapsy desek.

Příloha č. 3 Schéma vstupní periferie

Příloha o formátu A4 je vložena do kapsy desek.

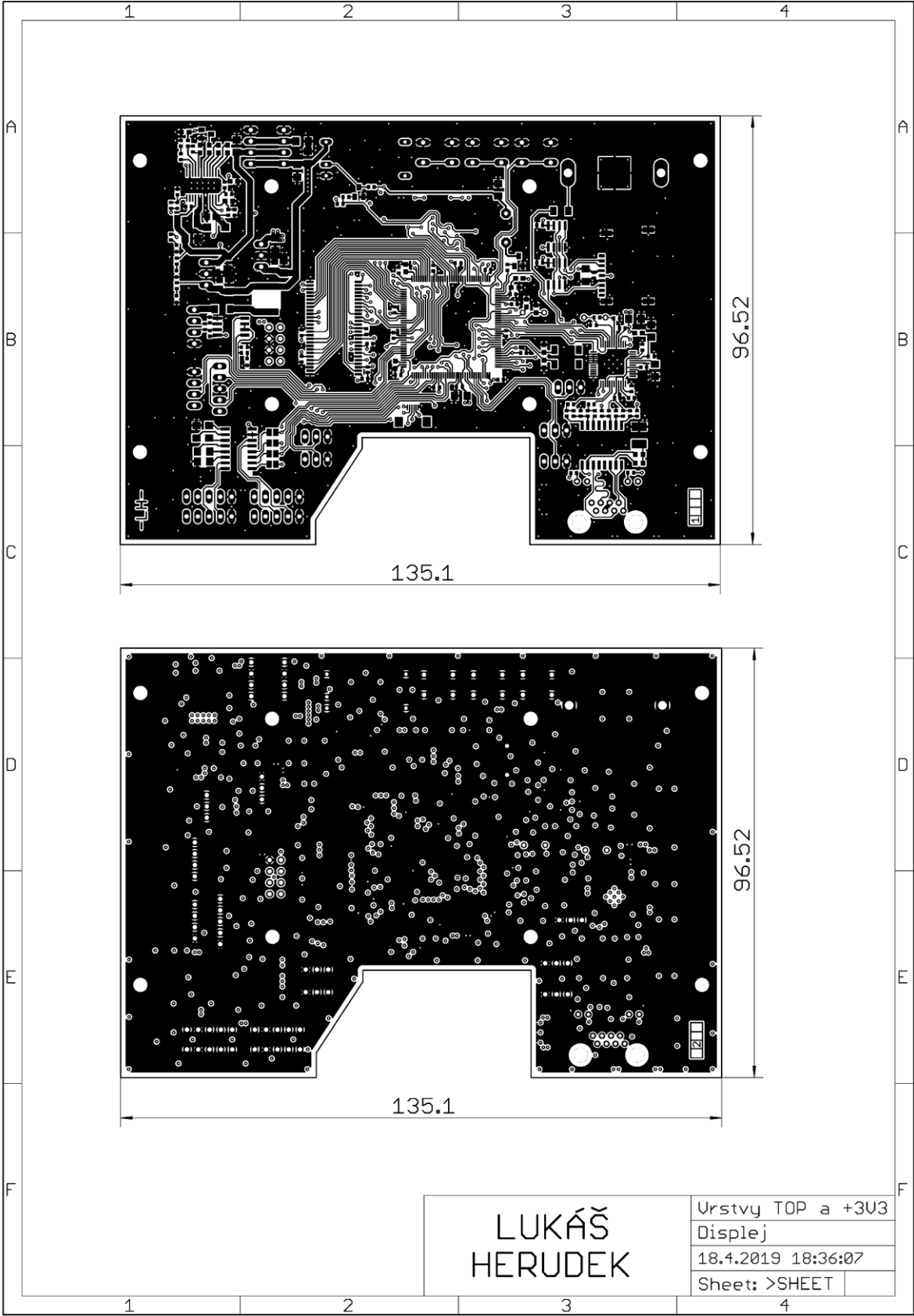
Příloha č. 4 Schéma výstupní periferie

Příloha o formátu A4 je vložena do kapsy desek.

Příloha č. 5 Schéma senzorické periferie

Příloha o formátu A4 je vložena do kapsy desek.

Příloha č. 6 Deska plošných spojů hlavní řídicí desky

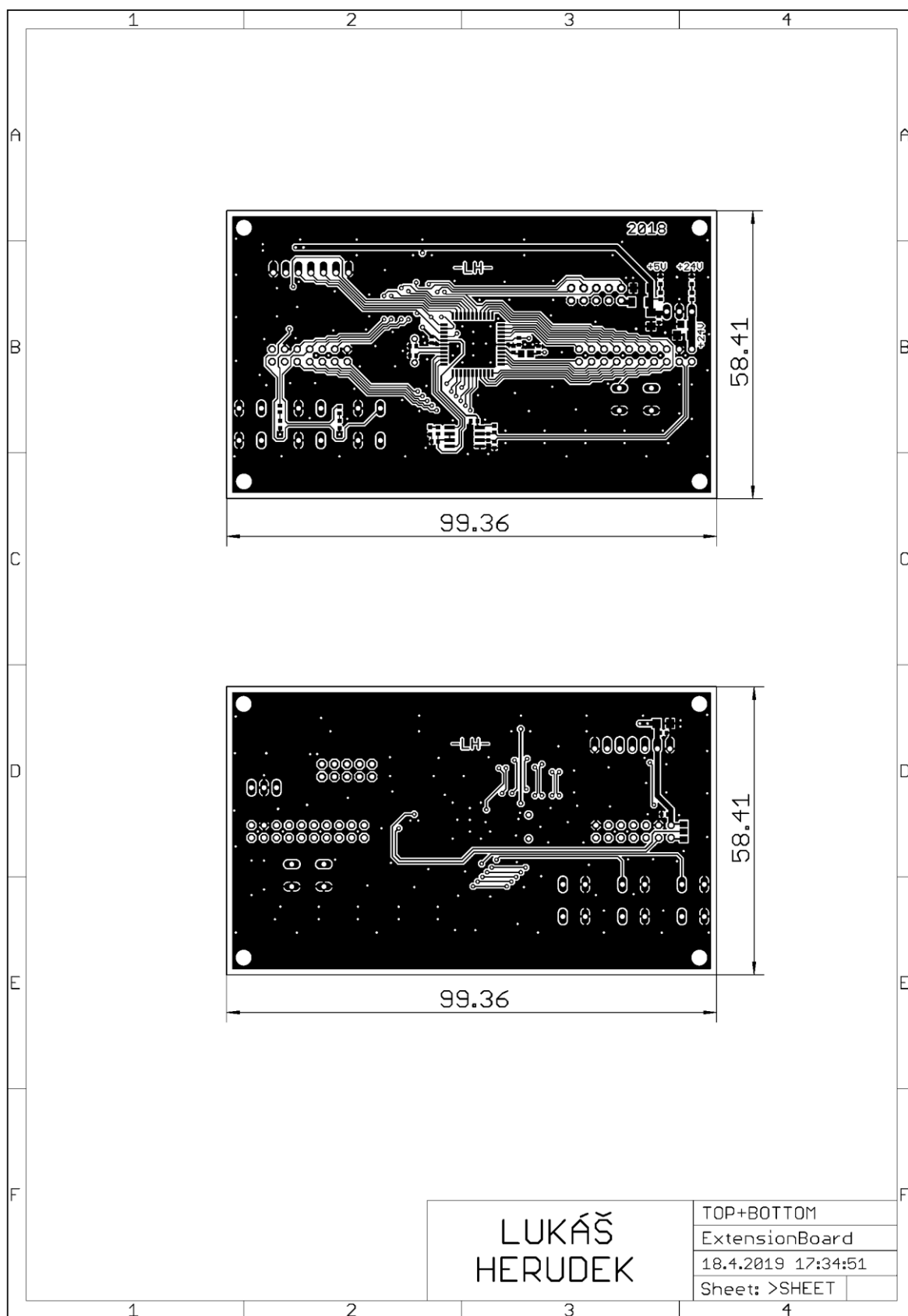


Deska plošných spojů hlavní řídicí desky, vrstvy TOP a +3V3 (vrstvy 1 a 2)



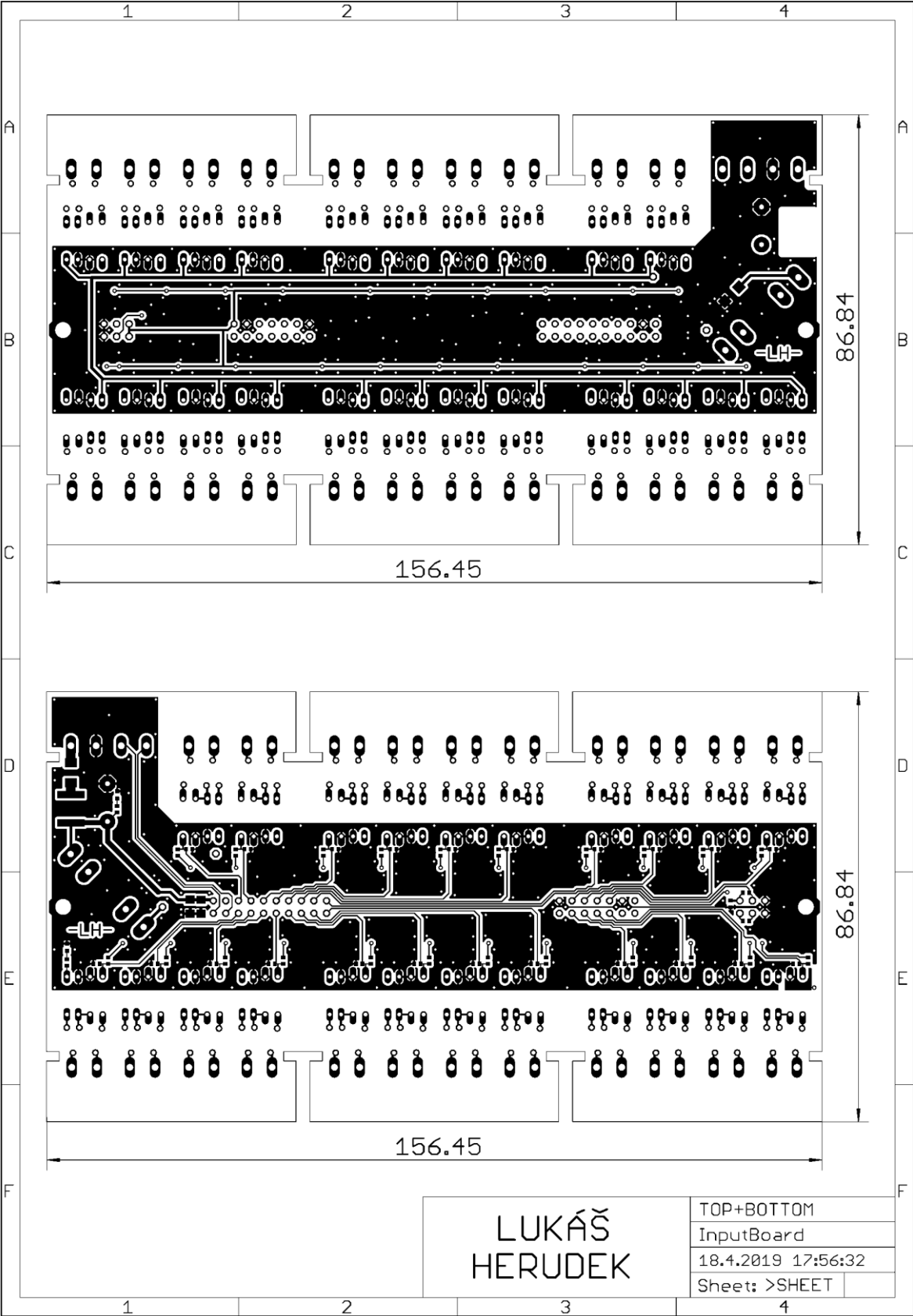
Deska plošných spojů hlavní řídicí desky, vrstvy GND a BOT (vrstvy 3 a 4)

Příloha č. 7 Deska plošných spojů univerzální periferní desky



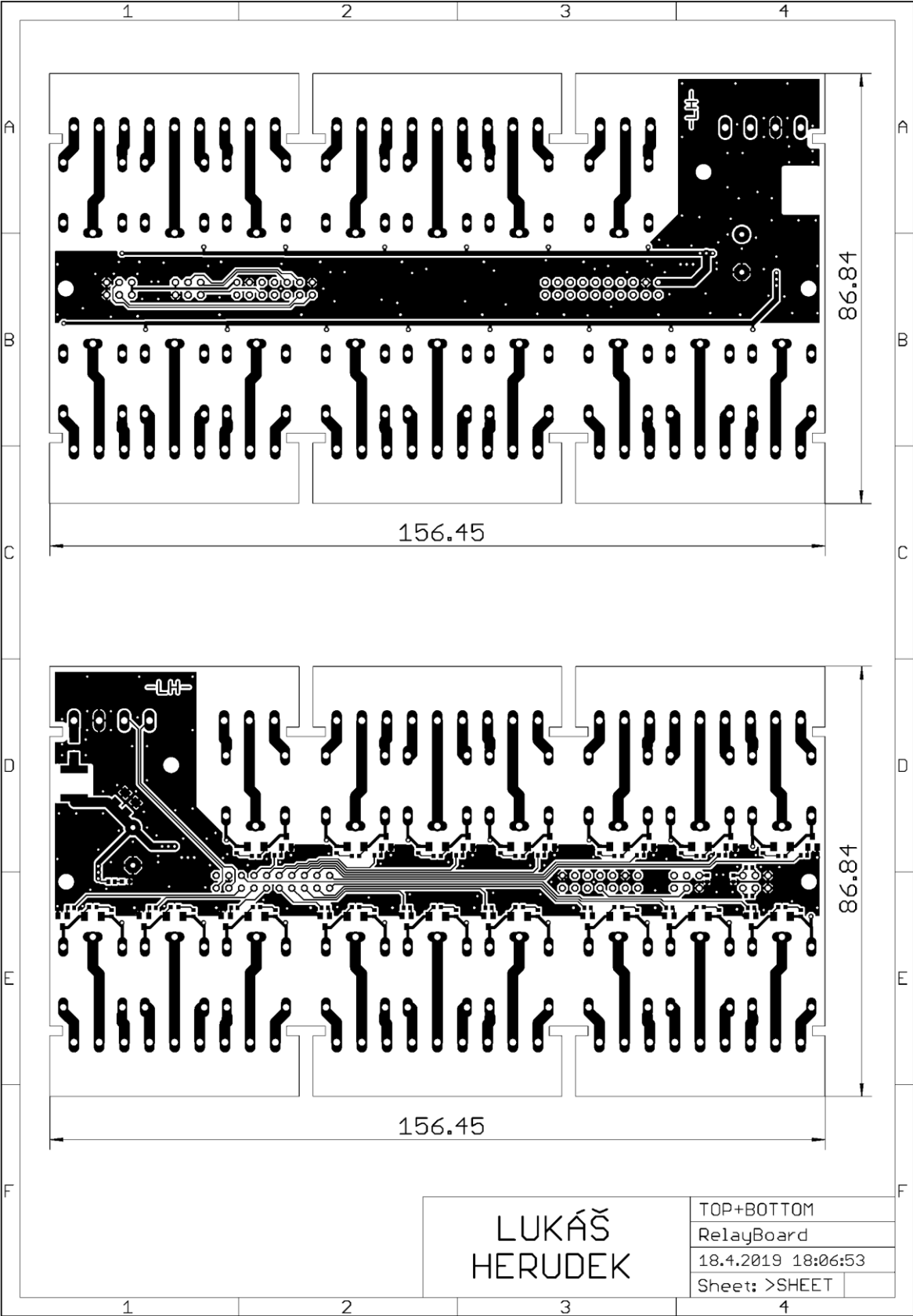
Deska plošných spojů univerzální periferní desky, vrstvy TOP a BOTTOM (vrstvy 1 a 2)

Příloha č. 8 Deska plošných spojů vstupní periferie



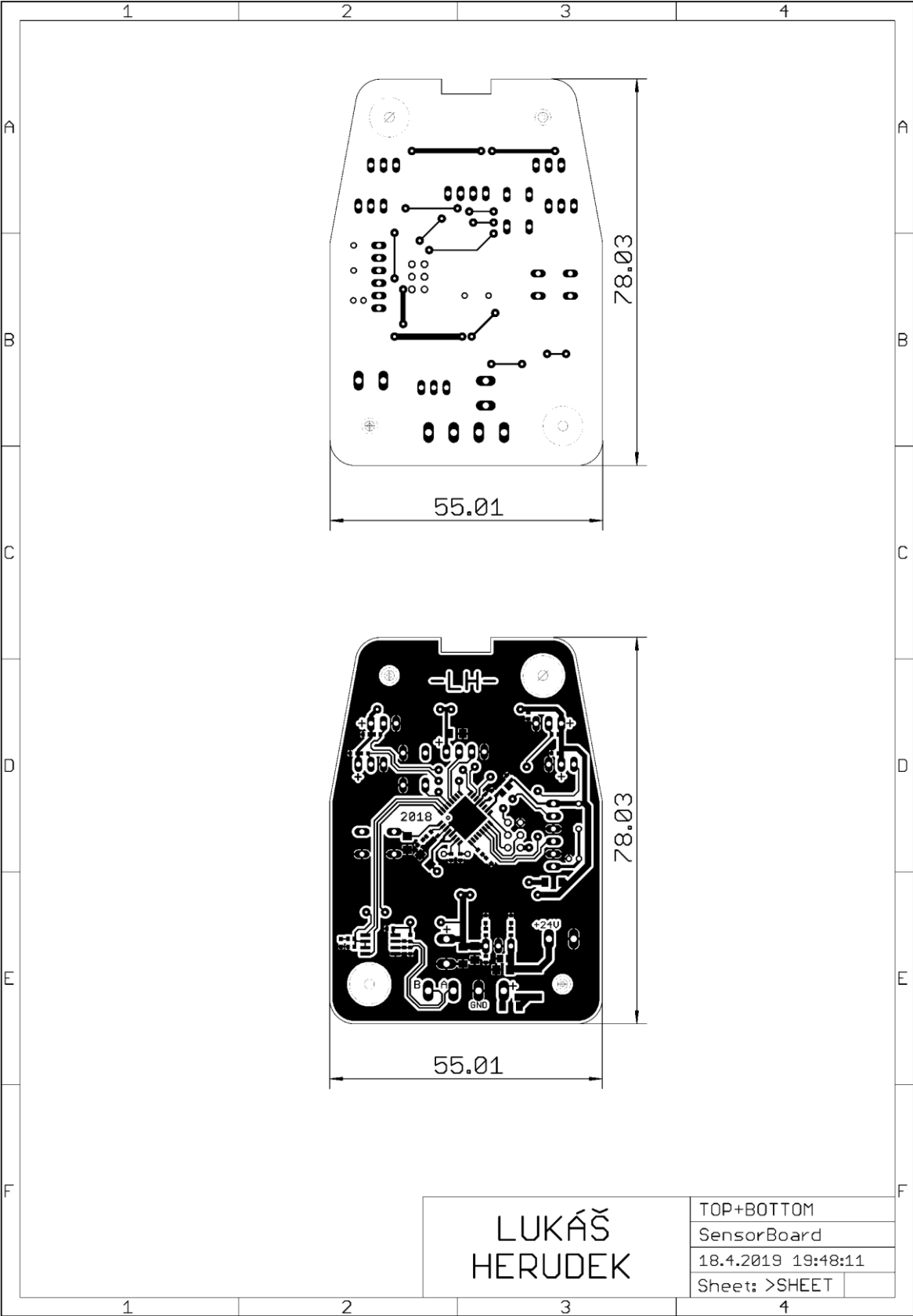
Deska plošných spojů vstupní periferie, vrstvy TOP a BOTTOM (vrstvy 1 a 2)

Příloha č. 9 Deska plošných spojů výstupní periferie



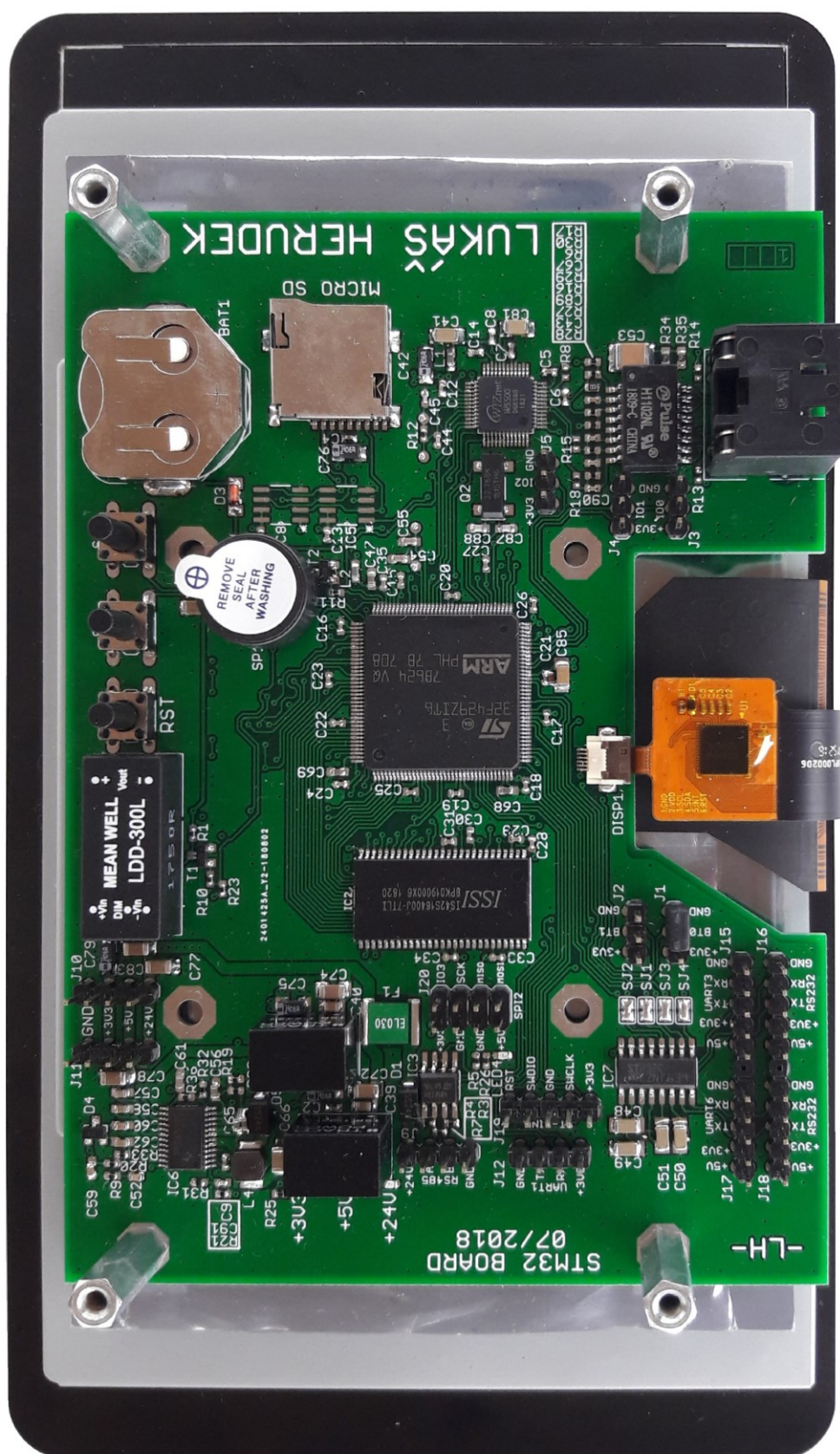
Deska plošných spojů výstupní periferie, vrstvy TOP a BOTTOM (vrstvy 1 a 2)

Příloha č. 10 Deska plošných spojů senzorické periferie



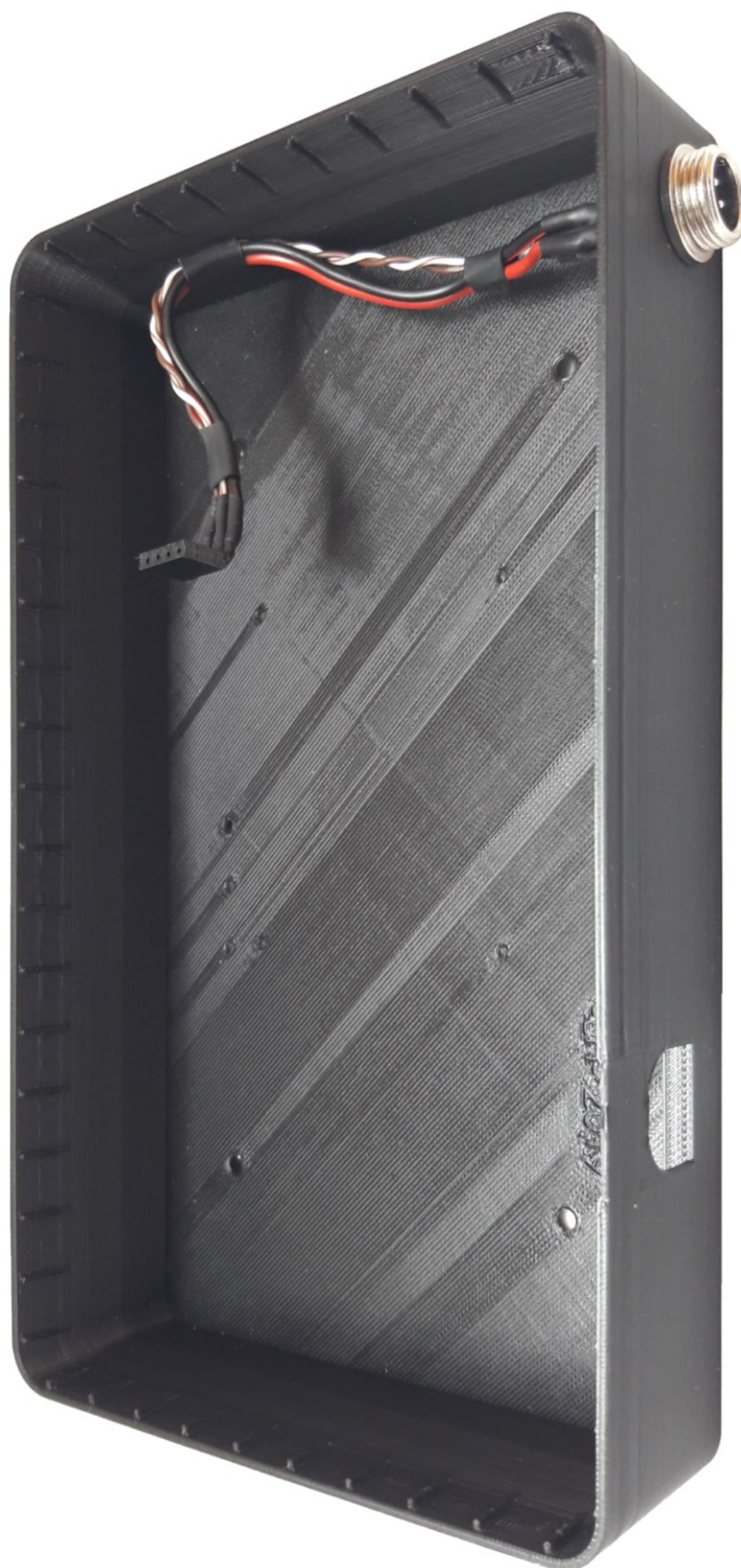
Deska plošných spojů senzorické periferie, vrstvy TOP a BOTTOM (vrstvy 1 a 2)

Příloha č. 11 Fotografie hlavní řídicí desky s displejem



Hlavní řídicí deska s připojeným displejem a distančními sloupky pro osazení do krabičky

Příloha č. 12 Fotografie krabičky pro hlavní řídicí desku



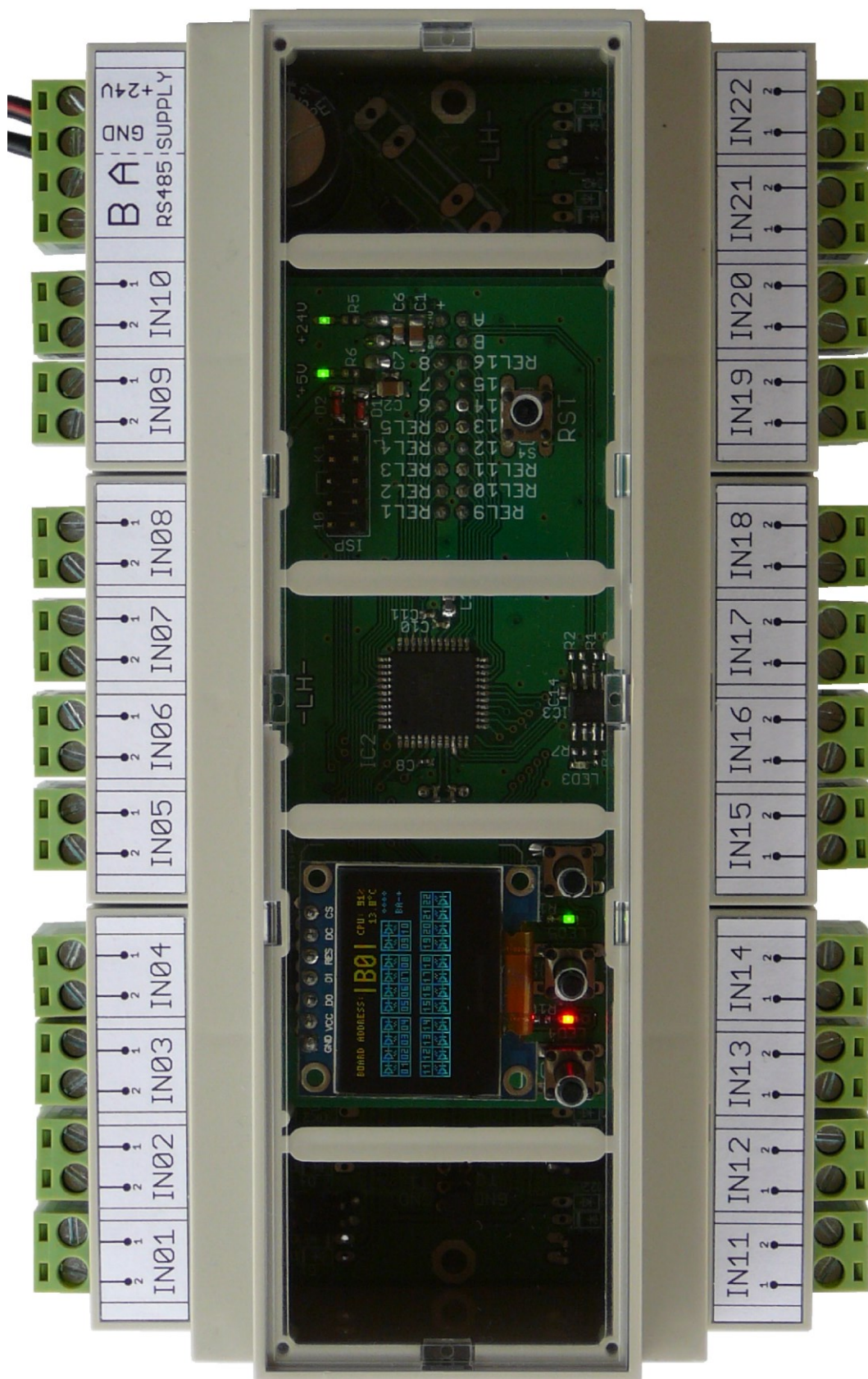
Krabička pro hlavní řídicí desku vyrobená pomocí 3D tisku

Příloha č. 13 Fotografie hlavní řídicí desky v krabičce



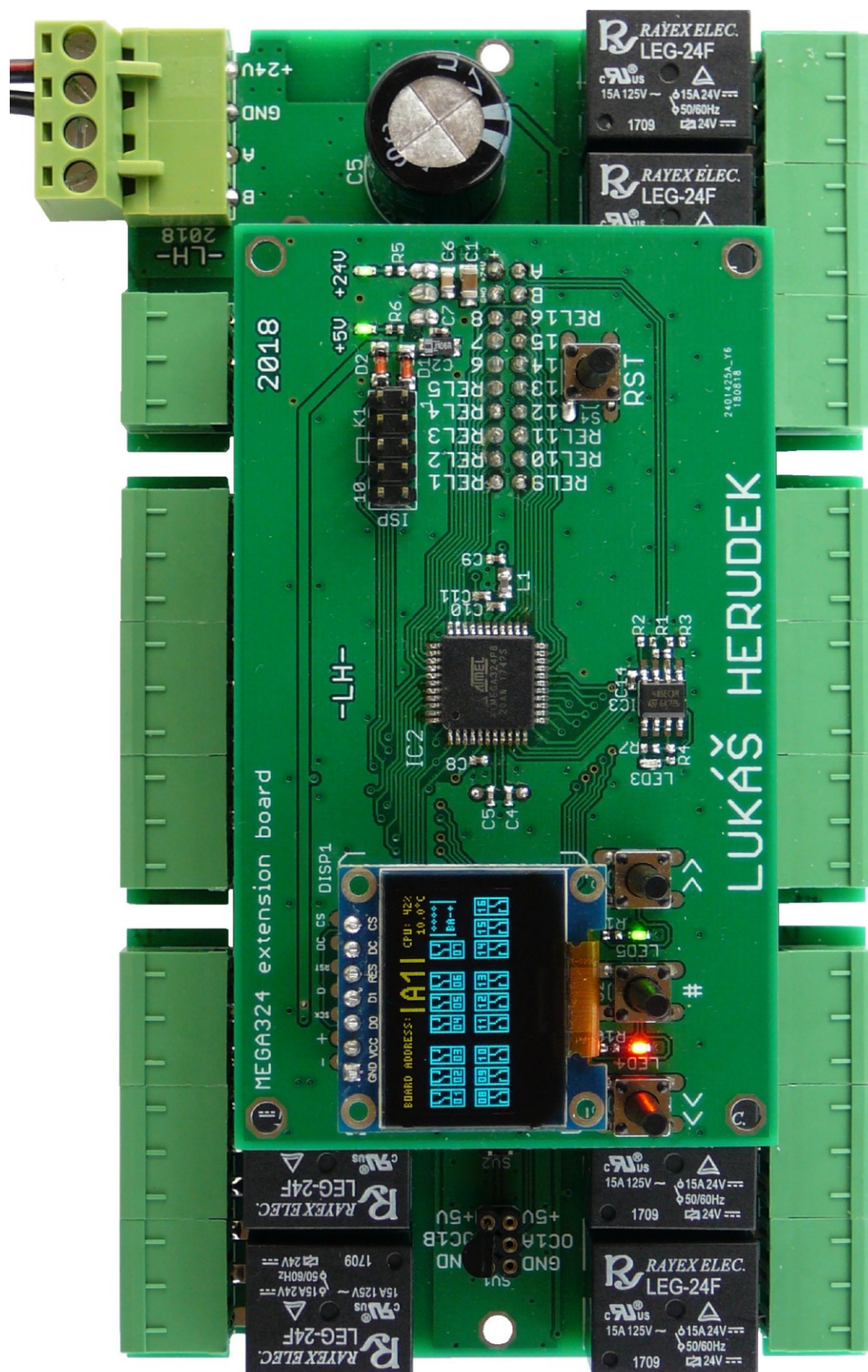
Hlavní řídicí deska v krabičce vyrobené pomocí 3D tisku

Příloha č. 14 Fotografie vstupní periferie v krabičce



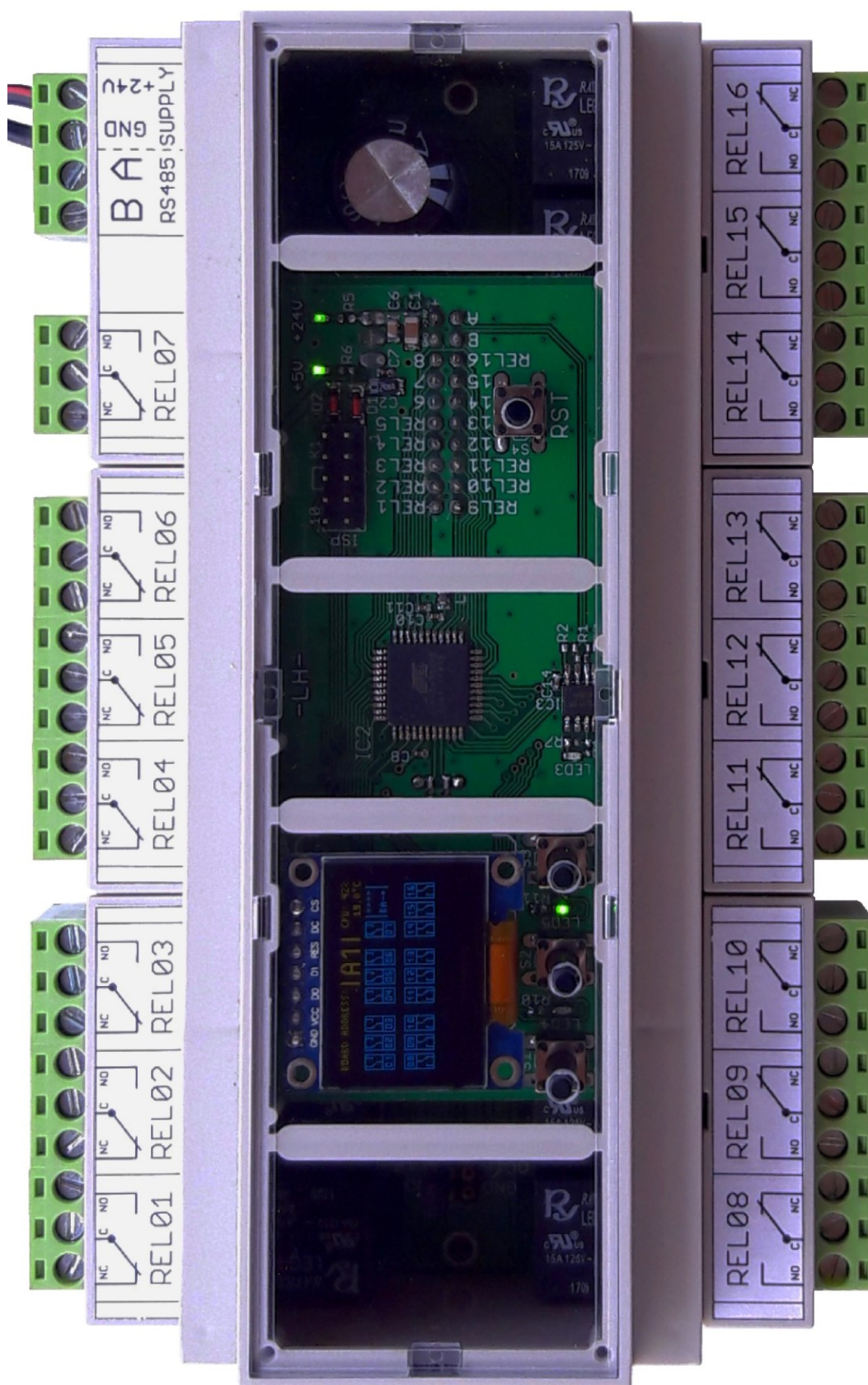
Vstupní periferie v krabičce na DIN lištu, včetně popisků konektorů

Příloha č. 15 Fotografie výstupní desky



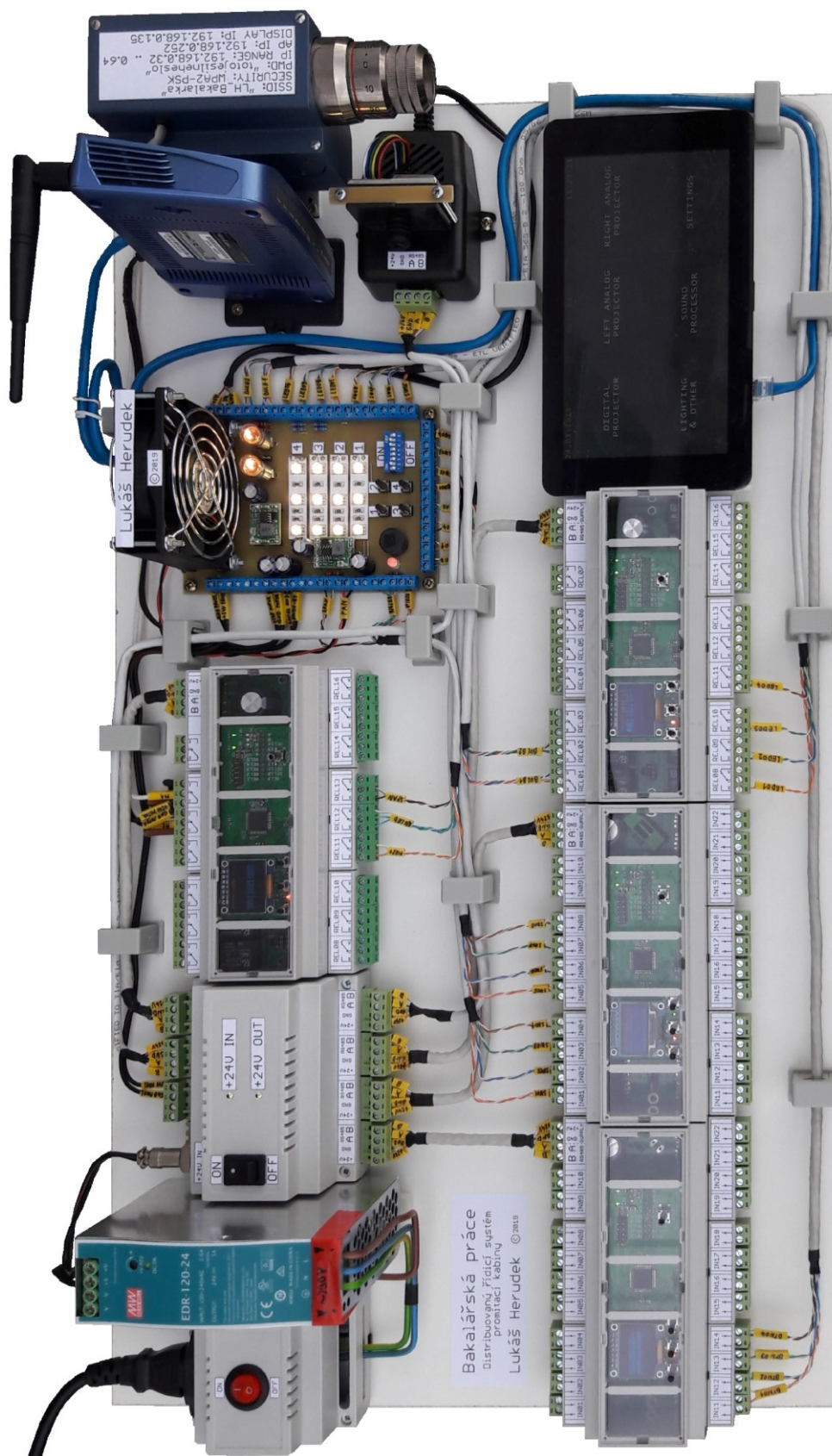
Výstupní periferie před osazením do krabičky

Příloha č. 16 Fotografie výstupní desky v krabičce



Výstupní periferie v krabičce na DIN lištu, včetně popisů konektorů

Příloha č. 17 Fotografie demonstračního panelu



Demonstrační panel s ukázkou funkce distribuovaného řídicího systému

Příloha č. 18 Tabulka vybraných příkazů sběrnice RS485

Hlavní řídicí deska (master) = 0xEE, GPIO deska/senzorová deska (slave) = 0xA0												
Baudrate = 19200		Struktura protokolu										
Název fce	Adresa přijímače 0x00	Adresa vysílače 0x00	Příkaz 0x00	Délka dat 0x00	Checksum hlavičky 0x00	Data				Checksum dat		
						0x00	0x00	...	0x00	0x00	0x00	0x00
ERR_GENERAL	FF	A0	FF	FF	00	00	5F	-	-	-	-	-
ERR_HDR_CHSUM	FF	A0	FF	FE	00	00	5E	-	-	-	-	-
ERR_DATA_MISSING	EE	A0	FF	FA	00	00	4B	-	-	-	-	-
ERR_RECEIVE_OK	EE	A0	FF	F8	00	00	49	-	-	-	-	-
ERR_RESET	A0	EE	FF	F7	00	00	46	-	-	-	-	-
ERR_PING	EE	A0	FF	F0	00	00	41	-	-	-	-	-
ERR_NO_GPIO_ID	EE	A0	FF	9F	00	00	2E	-	-	-	-	-
ERR_NO_TEMP_ID	EE	A0	FF	9E	00	00	2F	-	-	-	-	-
ERR_NO_HUM_ID	EE	A0	FF	9D	00	00	2C	-	-	-	-	-
GPIO_SET	A0	EE	00	20	00	01	6F	00	-	-	-	00
GPIO_READ	A0	EE	00	23	00	01	6C	00	-	-	-	00
GPIO_SET_TON	A0	EE	00	30	00	03	7D	00	00	00	-	00
GET_TEMP	A0	EE	00	40	00	01	0F	00	-	-	-	00
SEND_TEMP	EE	A0	00	41	00	03	0C	00	00	00	-	00
ERR_GENERAL	Obecná chyba (nelze určit příčinu ani typ chyby)											
ERR_HDR_CHSUM	V přijmuté hlavičce nastala chyba											
ERR_DATA_MISSING	Při příjmu dat nastal RX timeout = nepřišel slíbený počet dat											
ERR_RECEIVE_OK	Data byla přijmuta bez chyb a příkaz je známý a byl proveden/provede se											
ERR_RESET	Zašle přijímači pokyn k resetu											
ERR_PING	Zjistí, zda přijímač odpovídá											
ERR_NO_GPIO_ID	Odpoví na požadavek zapnout GPIO, pokud GPIO s požadovaným ID neexistuje											
ERR_NO_TEMP_ID	Odpoví na požadavek na teplotu, pokud teplotní čidlo s požadovaným ID neexistuje											
ERR_NO_HUM_ID	Odpoví na požadavek na relativní vlhkost, pokud vlhkostní čidlo s požadovaným ID neexistuje											
GPIO_SET	Zapne GPIO dle ID [ID GPIO]											
GPIO_READ	Zjistí stav GPIO dle ID [ID GPIO]											
GPIO_SET_TON	Zapne GPIO dle ID na daný čas (v desítkách ms) [ID GPIO][MSB čas v 10x ms][LSB čas v 10x ms] = 0-655360 ms = 10,92 min											
GET_TEMP	Vyzádá si od přijímače teplotu [ID teplotního snímače]											
SEND_TEMP	Odpovídá na požadavek na teplotu [ID senzor] [celé °C] [(7.bit [znaménko (1=-, 0=+)] + setiny °C) ~ [255±99] = ±255.99 °C]											

Tabulka vybraných příkazů protokolu pro komunikaci pomocí sběrnice RS485

Příloha č. 19 Tabulka vybraných příkazů aplikačního rozhraní

Vybrané příkazy aplikačního rozhraní pro vzdálené ovládání (metoda POST, formát JSON)	
Zvukový procesor	
Informace:	Zjistí všechny dostupné informace o zařízení
Požadavek:	{"device": "sound_processor", "command": "get_all"}
Odpověď:	{"device": "sound_processor", "fader": "045", "mute": "0", "format_button": "0", "projector": "2"}
Informace:	Nastaví hlasitost
Požadavek:	{"device": "sound_processor", "fader": "045"}
Odpověď:	{"device": "sound_processor", "fader": "045"}
Informace:	Zjistí, zda je zvuk ztišen
Požadavek:	{"device": "sound_processor", "mute": "?"}
Odpověď:	{"device": "sound_processor", "mute": "1"}
Digitální projektor	
Informace:	Zjistí všechny dostupné informace o zařízení
Požadavek:	{"device": "projector_digital", "command": "get_all"}
Odpověď:	{"device": "projector_digital", "macro_button": "5", "lamp": "0", "dowser": "0", "sleep": "a"}
Informace:	Vypne lampu projektoru
Požadavek:	{"device": "projector_digital", "lamp": "0"}
Odpověď:	{"device": "projector_digital", "lamp": "0"}
Informace:	Pokyn projektoru přejít do režimu spánku
Požadavek:	{"device": "projector_digital", "sleep": "s"}
Odpověď:	{"device": "projector_digital", "sleep": "s"}
Analogová promítáčka (levá)	
Informace:	Zjistí všechny dostupné informace o zařízení
Požadavek:	{"device": "projector_analog_left", "command": "get_all"}
Odpověď:	{"device": "projector_analog_left", "lamp": "0", "dowser": "0", "carousel_format": "2", "projector_on": "0", "projector_run": "0", "move_film": "0"}
Informace:	Vypne lampu projektoru
Požadavek:	{"device": "projector_analog_left", "lamp": "0"}
Odpověď:	{"device": "projector_analog_left", "lamp": "0"}
Informace:	Zapne motorický posun filmu
Požadavek:	{"device": "projector_analog_left", "move_film": "0"}
Odpověď:	{"device": "projector_analog_left", "move_film": "0"}

Tabulka vybraných příkazů aplikačního rozhraní pro vzdálené ovládání